

Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.

+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.

+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.

+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`



Dette er en digital kopi af en bog, der har været bevaret i generationer på bibliotekshylder, før den omhyggeligt er scannet af Google som del af et projekt, der går ud på at gøre verdens bøger tilgængelige online.

Den har overlevet længe nok til, at ophavsretten er udløbet, og til at bogen er blevet offentlig ejendom. En offentligt ejet bog er en bog, der aldrig har været underlagt copyright, eller hvor de juridiske copyrightvilkår er udløbet. Om en bog er offentlig ejendom varierer fra land til land. Bøger, der er offentlig ejendom, er vores indblik i fortiden og repræsenterer en rigdom af historie, kultur og viden, der ofte er vanskelig at opdage.

Mærker, kommentarer og andre marginalnoter, der er vises i det oprindelige bind, vises i denne fil - en påmindelse om denne bogs lange rejse fra udgiver til et bibliotek og endelig til dig.

Retningslinjer for anvendelse

Google er stolte over at indgå partnerskaber med biblioteker om at digitalisere offentligt ejede materialer og gøre dem bredt tilgængelige. Offentligt ejede bøger tilhører alle og vi er blot deres vogtere. Selvom dette arbejde er kostbart, så har vi taget skridt i retning af at forhindre misbrug fra kommerciel side, herunder placering af tekniske begrænsninger på automatiserede forespørgsler for fortsat at kunne tilvejebringe denne kilde.

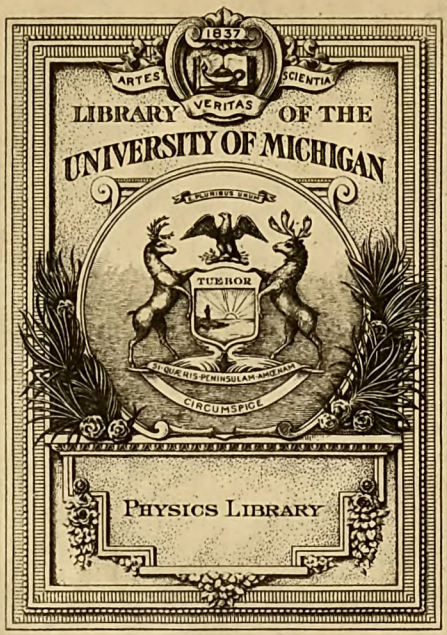
Vi beder dig også om følgende:

- Anvend kun disse filer til ikke-kommercielt brug
  Vi designede Google Bogsøgning til enkeltpersoner, og vi beder dig om at bruge disse filer til personlige, ikke-kommercielle formål.
- Undlad at bruge automatiserede forespørgsler
  Undlad at sende automatiserede søgninger af nogen som helst art til Googles system. Hvis du foretager undersøgelse af maskinoversættelse, optisk tegngenkendelse eller andre områder, hvor adgangen til store mængder tekst er nyttig, bør du kontakte os. Vi opmuntrer til anvendelse af offentligt ejede materialer til disse formål, og kan måske hjælpe.
- Bevar tilegnelse
  Det Google-"vandmærke" du ser på hver fil er en vigtig måde at fortælle mennesker om dette projekt og hjælpe dem med at finde yderligere materialer ved brug af Google Bogsøgning. Lad være med at fjerne det.
- Overhold reglerne
  Uanset hvad du bruger, skal du huske, at du er ansvarlig for at sikre, at det du gør er lovligt. Antag ikke, at bare fordi vi tror, at en bog er offentlig ejendom for brugere i USA, at værket også er offentlig ejendom for brugere i andre lande. Om en bog stadig er underlagt copyright varierer fra land til land, og vi kan ikke tilbyde vejledning i, om en bestemt anvendelse af en bog er tilladt. Antag ikke at en bogs tilstedeværelse i Google Bogsøgning betyder, at den kan bruges på enhver måde overalt i verden. Erstatningspligten for krænkelse af copyright kan være ganske alvorlig.

Om Google Bogsøgning

Det er Googles mission at organisere alverdens oplysninger for at gøre dem almindeligt tilgængelige og nyttige. Google Bogsøgning hjælper læsere med at opdage alverdens bøger, samtidig med at det hjælper forfattere og udgivere med at nå nye målgrupper. Du kan søge gennem hele teksten i denne bog på internettet på `http://books.google.com`





Digitized by Google

Physics Lib.
QC
1
F98

Digitized by Google

Digitized by Google

FYSISK TIDSSKRIFT

UDGIVET AF

SELSKABET FOR NATURLÆRENS UDBREDELSE

REDIGERET AF

H. M. HANSEN OG E. S. JOHANSEN

DR. PHIL.
DOCENT V. UNIVERSITETET.

DOCENT V. D. POLYT.
LÆREANSTALT.

17DE AARGANG. 1918–1919

KJØBENHAVN
HOVEDKOMMISSIONÆR: JUL. GJELLERUP
TRYKT HOS J JØRGENSEN & Co. (IVAR JANTZEN)
1919

Digitized by Google

Digitized by Google

Physics
Nj Bull
2, 19-29
1873

INDHOLD.

	Side.
Bäckström, Helmer, fil. mag., Stockholm: Ur d'Arsonvalgalvanometerns utvecklingshistoria	13, 35
Fibiger, J., Ingeniør: Bølgebevægelse og Materialvandring langs Kysten	88
Gleditsch, Ellen, Docent, Dr. phil., Kristiania: Studier over brøggerit, et radioaktivt mineral, og en bestemmelse af dets alder	101
Holst, Helge, cand. mag., Redaktør: E. B. Jerichau. En dansk Fysiker	92
Jacobsen, J. P., Docent, Dr. phil.: Se Anmeldelser.	
Jeppesen, J., Seminarielærer, Ranum: Se Anmeldelser	
Jepsen, H., Seminarielærer, Silkeborg: Luftens Sammensætning. Et Skoleforsøg	151
— Se Anmeldelser.	
Johansen, E. S., Docent: Et elementært Bevis for Ampère's Sætning	94
Juel, C., Professor, Dr. phil.: Om D'Alemberts Princip	121
Jørgensen, Poul, Adjunkt: Et Par kemiske Skoleforsøg	96
Kofoed, Johs., Adjunkt, Fredericia: Varmestraalingsforsøg	24
Lauritzen, L. P., Sparekassebogholder, Ærøeskøbing. Se Anmeldelser	
Molin, Kurt, fil. lic., Assistent, Trondhjem: Beskrifning och undersökning af en självregistrerande fallkropp af Reed. Dess användning vid ett nytt fallförsök för skolan	157
Møller, Svend, mag. sc. & cand. pharm.: Farvestoffer	171
Olsen, Johs., cand. mag., Assistent: Om de Brownske Bevægelser	1
Pedersen, P. O., Professor: Poulsen-Buens Virkemaade. Om Poulsen-Buens Teori I	45
— Magnetfeltet i Poulsen-Buen. Om Poulsen-Buens Teori II	69
Salomonsen, Sally, Adjunkt: Dr. phil. F. Barmwater	33
Schroeter, J. Fr., Observator, Kristiania: Se Anmeldelser	
Sundorph, Th., Overlærer: Skoleforsøg over Varmeækvivalentet	149
Tscherning, M., Professor, Dr. med.: Øjet som fysisk Apparat	137
Danske Eksamensopgaver	28, 187
Fysisk Forening	67
Til Læserne	192

Digitized by Google

Fysik i Skolen.

Jepsen, H., Seminarielærer, Silkeborg: Luftens Sammensætning. (Et Skoleforsøg) . . . . . Side. 151
Jørgensen, Poul, Adjunkt: Et Par kemiske Skoleforsøg 96
Kofoed, Johs., Adjunkt, Fredericia: Varmestraalingsforsøg 24
Sundorph, Th., Overlærer: Skoleforsøg over Varmeækvivalentet 149

Anmeldelser.

Auerbach, Felix: Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Anm. af Seminarielærer J. Jeppesen, Ranum 68
Janssen, C. Luplau og *E. Buch Andersen:* Fixstjernerne. Anm. af Observator J. Fr. Schroeter, Kristiania 151
Jul, Niels: Joakims Forsøgsbog. Anm. af Seminarielærer H. Jepsen, Silkeborg 154
Prytz, K.: Læren om faste Legemers Bevægelse I. Anm. af Docent, Dr. phil. J. P. Jacobsen. 30
Schulze, F. A.: Grosse Physiker. Anm. af Sparekassebogholder L. P. Lauritzen, Ærøeskøbing 99
Steensig, Aage: Naturlære I—II. Anm. af Seminarielærer H. Jepsen, Silkeborg 155

Digitized by Google

Om de Brownske Bevægelser.

Af

Johs. Olsen.

Det vil være almindelig bekendt, at meget smaa Partikler, der er opslemmede i Vand, naar de betragtes gennem et Mikroskop, vil vise sig at være i uafbrudt Bevægelse. Bevægelsen viser sig at være desto livligere, jo mindre Partiklerne er. Dette Fænomen blev først opdaget af den engelske Botaniker Brown, og efter ham har det faaet Navn. De Smaapartikler, han anvendte, var af organisk Oprindelse, og han troede derfor, at Bevægelsen var et Udtryk for Liv: I Løbet af forrige Aarhundrede blev der anstillet mange Undersøgelser over de Brownske Bevægelser. Det viste sig snart, at uorganiske Smaadele opførte sig paa lignende Maade som de organiske, og dermed var Hypotesen om, at det skulde være Tegn paa Liv, slaaet til Jorden.

Da den kinetiske Teori for Luftarter og Vædsker havde vundet fast Form gennem Maxwell's og Clausius' Arbejder ca. 1857, faldt det naturligt at anvende denne til Forklaring af de Brownske Bevægelser. Det viste sig nu, at det var let at forklare Fænomenet rent kvalitativt. Derimod var den mere indgaaede matematiske Behandling meget vanskelig, og først 1905 lykkedes det omtrent samtidig Østerrigeren Einstein og Polakken Schmolukowski at give den matematiske Teori for Bevægelserne en saadan Form, at den kunde undersøges kvantitativt. Gennem en Række smukke Forsøg har Franskmanden Perrin dernæst godtgjort, at der er den smukkeste Overensstemmelse mellem Teori og Experiment. I det følgende skal der gives en kort Fremstilling af Einsteins Teori og de Forsøg, Perrin har udført for at bevise Teoriens Rigtighed.

I Følge den kinetiske Teori bestaar en Vædske af Molekuler, som er i uafbrudt Bevægelse. Paa Grund heraf støder et Molekule snart

Digitized by Google

mod ét Nabomolekule snart mod et andet og faar derved sin Hastighed ændret hvert Øjeblik. Naar de fysiske Betingelser i længere Tid er konstante, vil der imidlertid indstille sig en Ligevægt, hvor den Regel gælder, at den gennemsnitlige Energi er ens for alle Molekuler, (E. S. Johansen: Fys. Tidsskr., 10. Aarg., Side 36). Faste Partikler, der er opslemmet i Vædsken, vil modtage Stød fra de omgivende Molekuler og derved faa den omtalte Middelenergi. Partiklerne vil altsaa bevæge sig mellem Vædskemolekulerne, men for de Partiklers Vedkommende, der er synlige ved svag Forstørring, bliver Forskydningerne saa smaa, at de ikke kan ses, da Partiklernes Masse er mange Gange større end Molekulernes. For Partikler med mindre Masse bliver Forskydningerne større, og for de Partikler, der netop kan ses i stærke Mikroskoper, er Forskydningerne saa store, at de er synlige i Mikroskopet. Det er disse Bevægelser, vi kalder de Brownske.

Partikler, hvis Masse er endnu mindre, saa smaa, at de ikke engang er synlige i Ultramikroskopet, vil naturligvis ogsaa udføre Brownske Bevægelser, selv om vi ikke kan se dem. Men det samme maa sandsynligvis ogsaa gælde f. Eks. Sukkermolekuler opløst i Vand. Den Proces, der foregaar ved Opløsningen, bestaar jo deri, at Sukkermolekulerne løsnes fra deres faste indbyrdes Forbindelse og vandrer frit om mellem Vædskemolekulerne. Dette kan direkte sluttes af den Kendsgerning, at der gælder ganske samme Lov for Sukkermolekuler opløst i Vand (Van t'Hoffs Lov) som for Luftarter. Da Luftmolekulerne bevæger sig frit i det tomme Rum, maa Sukkermolekulerne bevæge sig frit i Opløsningsmidlet. Hvis man nu kan bevise, at den samme Lov ogsaa gælder for Partikler, der udfører Brownske Bevægelser, har man godtgjort, at Sukkermolekulernes og Partiklernes Bevægelse er af samme Art.

Perrin anvendte Van t'Hoffs Lov paa Emulsioner — d. v. s. Vand, hvori der er opløst talrige lige store faste Partikler — og afledte adskillige Konsekvenser, der kunde prøves ved Forsøg. Han viste saaledes teoretisk, at i en Emulsion skal Partiklernes Tæthed aftage fra Bunden af Karret opefter efter en exponentiel Funktion paa samme Maade, som Atmosfæretrykket, altsaa Luftens Tæthed, aftager opefter. De udførte Forsøg bekræftede dette baade kvalitativt og kvantitativt, og hermed var Gyldigheden af Van t'Hoffs Lov for Emulsioner bevist paa en overmaade elegant Maade. Man kan derfor simpelthen opfatte Emulsionerne som en Slags Opløsninger med meget store Molekuler. De Brownske Bevægelser bliver da et Billede paa

Digitized by Google

den molekulære Bevægelse, som hidtil har været skjult for vore Øjne. Forskellen mellem den molekulære Bevægelse og den Brownske kan kun være af rent kvantitativ Art.

Hvis vi følger en Partikel paa dens Vej og udleder Lovene for Bevægelsen, har vi samtidig udledt Lovene for den molekulære Bevægelse. Man faar herved et Middel til at godtgøre, at den kinetiske Teori ikke blot er en frugtbar Arbejdshypotese, men en Teori, der giver det rette Billede af de faktiske Forhold.

Et almindeligt Luftmolekule gennemløber i et Sek. en Vej paa ca. 500 m ved Stuetemperatur. Men i samme Tidsrum skifter det Retning ca. 5000 Millioner Gange, nemlig lige saa mange Gange, som det støder mod andre Molekuler. Den Bane, det beskriver, er derfor uhyre indviklet, og da de Brownske Bevægelser er af samme Art, maa det samme gælde om dem. Naar en Partikel tilsyneladende har bevæget sig retlinet fra A til B, vil dens virkelige Bane langt fra være retlinet, men vilde, hvis den blev forstørret tilstrækkeligt, vise sig som en Zigzaglinie med utallige Bugtninger. Men disse Vibrationer er for smaa og for hurtige, til at vort Øje kan opfatte dem. Vi ser kun Bevægelserne i grove Træk. Man kan derfor ikke karakterisere Bevægelsens Aktivitet ved at søge at bestemme Partiklens tilsyneladende Middelhastighed. Thi denne har intet med den virkelige Hastighed at gøre, og den vilde derfor være afhængig af, om det Tidsinterval, der brugtes ved Bestemmelsen, var langt eller kort. Man maa altsaa bruge et andet Middel til at karakterisere Bevægelsens Aktivitet, og dette Middel maa være af en saadan Art, at det giver samme Værdi for Aktiviteten, enten vi anvender et kort eller et langt Tidsinterval ved Bestemmelsen.

Vi vil ved Udledelsen af Udtrykket for Aktiviteten ikke betragte Partiklens Forskydninger i Rummet, men kun Komposanterne i et Plan vinkelret pa de ydre Kræfter, i Almindelighed Tyngden. Forskydningerne maalt paa denne Maade skyldes udelukkende Molekulstødene, og deres Størrelse og Retning er underkastet Tilfældighedens Love. Hvis man kalder Forskydningerne efter en bestemt Akse (x-Aksen) i n paa hinanden følgende Tidsintervaller hver paa τ Sekunder for henholdsvis x_1, x_2 .... x_n, kan man vise:

$$\frac{x^2_1 + x^2_2 + \cdots x^2_n}{n} = c \cdot \tau,$$

Digitized by Google

hvor c er en Konstant. Ligningen udtrykker, at Middelværdien af Kvadraterne paa Forskydningen efter en bestemt Axe er proportional med den Tid, en enkelt Forskydning tager. $\Sigma \frac{x^2}{n}$ kan vi kalde ξ^2.

Bevis: Lad os vælge et nyt Tidsinterval $\tau' = p\tau$. Forskydningen x'_1 i Tiden τ' er bestemt ved:

$$x'_1 = x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} \cdots \cdot x_{1,p},$$

hvor $x_{1,1}$; $x_{1,2}$ o. s. v. er Forskydninger i de p Intervaller, hver paa τ Sekunder.

I det næste Tidsinterval τ' faar Partiklen Forskydningen:

$$x'_2 = x_{2,1} + x_{2,2} + \cdots \cdot + x_{2,p}.$$

De $n-2$ næste Tidsintervaller giver analoge Ligninger. Vi kvadrerer alle Ligninger og faar:

$$\begin{aligned}
(x'_1)^2 &= x^2_{1,1} + x^2_{1,2} + \cdots \cdot x^2_{1,p} + 2 \sum_{\text{over } p} x_{1,r} \cdot x_{1,s} \\
(x'_2)^2 &= x^2_{2,1} + x^2_{2,2} + \cdots \cdot x^2_{2,p} + 2 \sum_{\text{over } p} x_{2,r} \cdot x_{2,s} \\
&\vdots \\
(x'_n)^2 &= (x_{n,1})^2 + (x_{n,2})^2 + \cdots \cdot (x_{n,p})^2 + 2 \sum_{\text{over } p} x_{n,r} \cdot x_{n,s}.
\end{aligned}$$

Vi summerer, dividerer med n og faar:

$$\frac{(x'_1)^2 + (x'_2)^2 + \cdots \cdot (x'_n)^2}{n} = \frac{1}{n}\sum x^2_{n,1} + \frac{1}{n}\sum x^2_{n,2} + \cdots \cdot + \frac{1}{n}\sum x^2_{n,p} + \frac{2}{n} \sum_{\text{over } n \text{ og } p} x_{n,r} \cdot x_{n,s}$$

Venstre Side er Middelværdien af Kvadraterne paa Forskydningerne i Tiden τ' og kan kaldes $(\xi')^2$. Paa højre Side har de p første Led alle Værdien ξ^2. Det sidste Led forsvinder, fordi Forskydningerne er tilfældige. Ligningen gaar da over til:

$$(\xi')^2 = p\xi^2 = \frac{\tau'}{\tau} \cdot \xi^2,$$

Digitized by Google

eller : $$\frac{(\xi')^2}{\tau'} = \frac{\xi^2}{\tau} = c,$$

hvor c er en Konstant.

c kaldes Aktiviteten.

c kan bestemmes experimentelt, idet de Vejlængder, der indgaar i Udtrykket, er dem, Partiklen tilsyneladende har gennemløbet, og ikke de virkelige.

Da nu alle Partikler i Tiden τ faar en vis Forskydning til Siden, maa der komme en Diffusion i Gang; vi vil søge at bestemme Diffusionskoefficienten.

Sandsynligheden dW for, at en Partikel faar en Forskydning i Retning af x-Aksen, hvis Størrelse ligger mellem x og $x + dx$, maa være bestemt ved Maxwells Fordelingsfunktion

$$dW = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\xi} e^{-\frac{x^2}{2\xi^2}} dx = f(x)dx.$$

Vi vil betragte et Rør med Tværsnit 1 cm^2. Molekultætheden i Punktet x_1 til Tiden t vil vi kalde $\varphi(x_1, t)$.

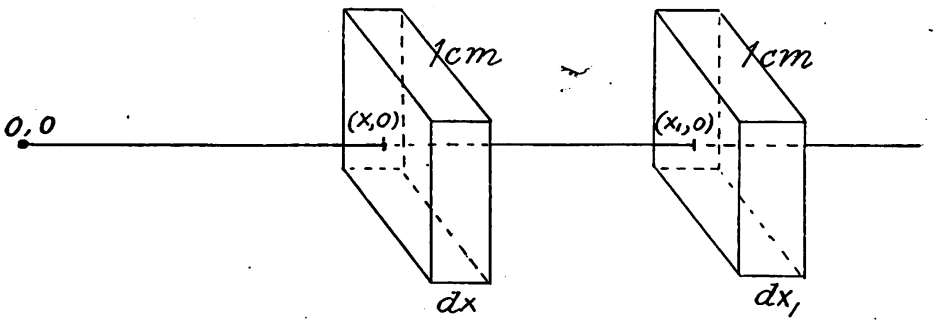


Fig. 1.

I en Skal med Grundflade 1 cm^2 og Højde dx_1 vil der da findes $\varphi(x_1, t) \cdot dx_1$ Molekuler til Tiden t. Sandsynligheden for, at disse Molekuler til Tiden $t + \tau$ ligger mellem x og $x + dx$, er $dW_1 = f(x - x_1) \cdot d(x - x_1)$, thi dW_1 er jo Sandsynligheden for Forskydningen $x - x_1$. Af de $\varphi(x_1, t)dx_1$ Molekuler i Skallen dx_1 vil altsaa $dn = \varphi(x_1, t)\, dx_1 \cdot f(x - x_1)\, d(x - x_1) = \varphi(x_1, t)\, dx_1 f(x - x_1)\, dx$ befinde sig i en tilsvarende Skal mellem x og $x + dx$ til Tiden $t + \tau$. Integrerer vi dn

Digitized by Google

med Hensyn til x_1 fra $-\infty$ til $+\infty$, faar vi alle Molekuler, der er i Skallen dx til Tiden $t+\tau$. Men denne Mængde er $\varphi(x, t+\tau)\,dx$. Altsaa er:

$$\varphi(x, t+\tau)\,dx = dx \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x_1, t)\, f(x - x_1)\, dx_1.$$

Nu sætter vi:

$$x - x_1 = -\chi.$$
$$dx_1 = d\chi.$$

Ligningen skrives da:

$$\varphi(x, t+\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x+\chi, t)\, f(-\chi)\, d\chi. \qquad (1)$$

φ Funktionerne udvikles efter Taylors Formel:

$$\varphi(x, t+\tau) = \varphi(x, t) + \frac{\tau}{1}\cdot\varphi'_t(x, t) + \frac{\tau^2}{1\cdot 2}\varphi''_t(x, t) + \cdots\cdot$$

$$\varphi(x+\chi, t) = \varphi(x, t) + \frac{\chi}{1}\cdot\varphi'_x(x, t) + \frac{\chi^2}{1\cdot 2}\varphi''_x(x, t) + \cdots\cdot$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x+\chi, t)\, f(-\chi)\, d\chi = \varphi(x, t)\int_{-\infty}^{+\infty} f(-\chi)\, d\chi + \varphi'_x(x, t)\int \chi\, f(-\chi)\, d\chi$$
$$+ \frac{\varphi''_x(x, t)}{1\cdot 2}\int \chi^2 f(-\chi)\, d\chi + \cdots\cdot$$

Nu er $\int_{-\infty}^{+\infty} f(-\chi)\, d\chi = 1$ og $\int \chi f(-\chi)\, d\chi = 0$, thi $f(-\chi)$ har samme Værdi, selv om χ skifter Tegn. Paa samme Maade gaar det alle Led i Rækken, hvor χ er i ulige Potens. (1) kan derfor skrives:

$$\varphi(x, t) + \frac{\tau}{1}\varphi'_t(x, t) + \frac{\tau^2}{1\cdot 2}\varphi''_t(x, t) = \varphi(x, t)$$
$$+ \varphi''_x(x, t)\int \frac{\chi^2}{1\cdot 2}\cdot f(-\chi)\, d\chi + \cdots\cdot$$

Nu kan vi vælge τ saa lille, at det understregede Led paa begge Sider er det eneste, der har Betydning. Man faar da:

Digitized by Google

$$\tau\varphi'_t(x,t) = \varphi''_x(x,t)\int\frac{\chi^2}{1\cdot 2}f(-\chi)\,d\chi = \tfrac{1}{2}\varphi''_x(x,t)\,\xi^2.$$

Men Diffusionskoefficienten D defineres netop ved Ligningen:

$$\varphi'_t(x,t) = \varphi''_x(x,t)\cdot D.$$

Man faar da følgende simple Ligning:

$$D = \frac{\xi^2}{2\tau}.$$

Einstein har nu paa Grundlag af ovenstaaende Ligning udledet en ny, som er endnu interessantere. Han har nemlig i Stedet for D indført Avogadros Konstant N, Antallet af Molekuler i et Grammolekule.

Vi vil tænke os, at vi har en Opslemming i Vand af lige store Partikler, som til at begynde er ligeligt fordelt. Paa Grund af Tyngden vil Delene begynde at falde, og snart vil der være samlet flere Partikler i de nedre Lag af Vædsken end i de øvre. Paa Grund af Koncentrationsforskellene vil der imidlertid komme en Diffusion i Gang fra neden af op efter, og efter nogen Tids Forløb vil der være opnaaet en stationær Tilstand, hvor det Antal, Diffusionen sender op efter, er lige saa stort som det Antal, Tyngden sender nedefter.

Vi vælger x-Aksen fra Karrets Bund op efter. Antallet af Partikler i 1 cm^3 kaldes n, og Kraften, hvormed Tyngden virker paa en Partikel, kaldes F. Under denne Paavirkning faar Partiklen nedad en Hastighed v, der bestemmes ved Stokes Lov:

$$F = 6\pi a\eta v,$$

hvor a er Partiklens Radius og η Gnidningskoefficienten. Antallet dn_1 af Partikler ,som gaar gennem hver cm^2 i nedadgaaende Retning, er bestemt ved:

$$dn_1 = n\cdot v = \frac{nF}{6\pi a\eta}.$$

Det Antal Diffusionen sender i modsat Retning er:

$$dn_2 = -D\frac{dn}{dx}.$$

Digitized by Google

Naar Tilstanden er stationær, er altsaa

$$-D\frac{dn}{dx}=\frac{nF}{6\pi a\eta}. \qquad (2)$$

Ligevægtstilstanden kan imidlertid ogsaa forklares saaledes, at det osmotiske Tryk, der opstaar paa Grund af Koncentrationsforskellen holder Ligevægt med Tyngdens Træk. Vi vil søge Ligevægtsbetingelsen for en lille Cylinder med Grundflade 1 cm^2 og Højden dx.

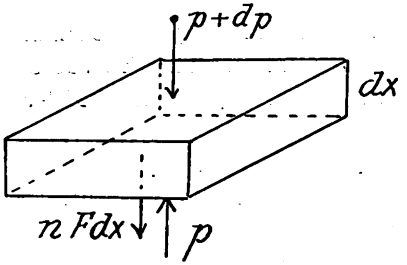


Fig. 2.

I Cylinderen er der ndx Partikler; Tyngdens Træk nedad er altsaa $nFdx$. Paa Cylinderens Overflade virker det osmotiske Tryk $p+dp$ i nedadgaaende Retning og paa Underfladen p i opadgaaende Retning. Ligevægtsbetingelsen er da $nFdx+p+dp-p=0$, altsaa

$$nF=-\frac{dp}{dx}.$$

Det osmotiske Tryk p er bestemt ved Tilstandsligningen

$$pV=RT \text{ (den samme som for Luftarter).}$$

Her er V Rumfanget af et Grammolekule, R Gaskonstanten, T den absolute Temp. Da hver cm^3 indeholdt n Molekuler, er $nV=N$ og

$$p=\frac{nRT}{N}.$$

$$-\frac{dp}{dx}=-\frac{RT}{N}\frac{dn}{dx}=nF.$$

Digitized by Google

Indsættes dette i Ligning (2) faar man:

$$D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi a\eta} = \frac{\xi^2}{2\tau}. \qquad (3)$$

Det var disse teoretiske Betragtninger, der dannede Grundlaget for Perrins Forsøg. Først paaviste han, at Partiklernes Forskydninger i en vandret Plan virkelig fulgte Tilfældighedens Love. Ved Hjælp af et Mikroskop med Tegneapparat fulgte han en Partikel og afmærkede paa kvadreret Papir dens Plads for hvert halve Minut. De afmærkede Punkter forbandtes med rette Linier, og der fremkom herved en Bane, der f. Eks. havde et Udseende, som hosstaaende Tegning viser.

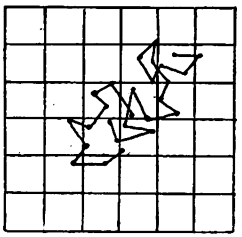


Fig. 3.

Paa Tegningen kan man direkte maale Størrelsen af Projektionerne paa en bestemt ret Linie, x-Aksen. Disse kaldes $x_1\, x_2 \ldots . x_n$. Hvis Forskydningerne virkelig er tilfældige, maa deres Størrelse fordele sig om en Middelværdi paa samme Maade, som Fejlene i enhver fysisk Maaling fordeler sig om deres Middelværdi. Fejlteorien lærer os nu, at blandt N Observationer maa et Antal:

$$n = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\xi} e^{-\frac{x^2}{2\xi^2}} dx$$

have en Størrelse, der ligger mellem x_1 og x_2. ξ^2 er Middelværdien af x'ernes Kvadrat og findes af selve Materialet. Dette Antal n kan sammenlignes med det Antal, der findes ved direkte blandt x'erne at tælle den Mængde, der har Størrelse mellem x_1 og x_2. I hosstaaende Tabel

Digitized by Google

viser I og II Overensstemmelsen mellem det beregnede Antal n_b og det observerede n_{ob}

Størrelse mellem	I		II		III	
	n_{ob}	n_b	n_{ob}	n_b	n_{ob}	n_b
0 og 1,7 μ	38	48	48	44	34	32
1,7 — 3,4	44	43	38	40	78	83
3,4 — 5,1	33	40	36	35	106	107
5,1 — 6,8	33	30	29	29	103	105
6,8 — 8,5	35	23	16	21	75	75
8,5 — 10,2	11	16	15	15	49	50
10,2 — 11,9	14	11	8	10	30	27
11,9 — 13,6	6	6	7	5	17	14
13,6 — 15,3	5	—	4	4	9	7
15,3 — ∞	2	2	4	2		

Hvis man forskyder alle Liniestykker saaledes, at de faar fælles Begyndelsespunkt, maa Endepunkterne ordne sig som en Skyttes »Træffere« om Skydeskivens Plet. Ogsaa her kan man baade beregne og observere Antallet af Træffere i hver Cirkelring uden om Pletten. Overensstemmelsen er vist ved Tabellens Rubrik III.

For at vise, at Teorien ogsaa stemte kvantitativt, anvendte Perrin Ligningen $\frac{\xi^2}{2\tau} = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi a\eta}$ til Bestemmelse af N. Partiklerne, der anvendtes, bestod af Gummigut eller Mastix, der opløstes i Alkohol, som derefter fortyndedes med Vand. Herved dannedes der Kugler af mange forskellige Størrelser. Ved en brudt Centrifugering (omtalt i Fysisk Tidsskrift, 11te Aargang, Side 52) fik han fremstillet en Emulsion af Kugler af praktisk talt samme Størrelse. Partiklernes Radius a bestemtes under Mikroskopet. Naar Vædsken, hvori Delene er opslemmet, damper bort, ordner Kornene sig nemlig i lange regelmæssige Rækker. Man maaler Længden af en saadan Række og dividerer med Partiklernes Antal, hvorved man faar Partiklens Diameter. Disse Værdier stemte udmærket med dem, der fandtes ved Anvendelse af Stokes Lov. Ved en lignende Opstilling som før fulgte Perrin Partiklens Bevægelse i lang Tid (indtil 13000 Bestemmelser). Herved opnaaedes en god Værdi for $\frac{\xi^2}{\tau}$. Emulsionen var omgivet af et Vandbad.

Digitized by Google

hvis Temperatur holdtes konstant. Perrin varierede Forsøgsomstændighederne paa mange Maader. Ved at anvende forskellige Vædsker som Opløsningsmiddel varieredes η i Forholdet 1 : 125. Radius for de anvendte Partikler varieredes i Forholdet 1 : 1500. 7 Forsøgsrækker gav følgende Værdier for N:

$$80 \times 10^{22}$$
$$69{,}5 \times 10^{22}$$
$$55 \times 10^{22}$$
$$72{,}5 \times 10^{22}$$
$$78 \times 10^{22}$$
$$64 \times 10^{22}$$
$$68{,}8 \times 10^{22}$$

Overensstemmelsen er meget tilfredsstillende, naar man tager Forsøgenes Vanskelighed i Betragtning. Nogle af Forsøgene er udført med tungtflydende Vædsker og store Partikler, hvor Bevægelserne var uhyre svage.

Den Værdi, som er Resultatet af de omhyggeligste Forsøg, er $68{,}8 \times 10^{22}$.

Dette skulde altsaa være den sandsynligste Værdi for Avogadros Konstant. Dette Tal stemmer udmærket godt med de Værdier for N, som man har bestemt ad ganske andre Veje, Værdier, som alle ligger mellem 60 og 70×10^{22}.

Det er før omtalt, at Partikler, der udfører Brownske Bevægelser, blot er at opfatte som store Molekuler. Ved Perrins Studier over disse Bevægelser er det da godtgjort, at Molekuler virkelig udfører Bevægelser i Overensstemmelse med den kinetiske Teoris Antagelser. Samtidig er man naaet til en ny Bestemmelse af, hvor mange Molekuler et Grammolekule af et Stof indeholder.

Men det ligger nær at føre Tanken videre. Ligesom de smaa opslemmede Partikler deltager i Molekulernes Bevægelse, saaledes vil de større Ting f. Eks. en Kanonkugle, der ligger i Luften, ogsaa deltage i dem. Men da Massen er mange Gange større end de »Brownske« Partiklers, og Middelenergien er den samme for Partikel og Kugle, vil Udsvingene være saa smaa, at man ikke kan iagttage dem. Men ligesom et Molekule i Følge Fordelingsloven i Undtagelsestilfælde kan opnaa en usædvanlig stor Hastighed, kan ogsaa Kanonkuglen en eller anden Gang komme i stærk Bevægelse, hvorved den »af sig selv« kan

Digitized by Google

fare højt op i Luften. Naar vi ikke ser dette i Naturen, skyldes det ikke, at det er umuligt, men blot den Kendsgerning, at Sandsynligheden derfor er saa ringe, at der kan hengaa uhyre Tidsrum, uden at denne Begivenhed finder Sted.

Rigtigheden af den kinetiske Teori er bevist indirekte paa saa mange Maader, at det kunde synes ret overflødigt at levere et direkte Bevis af den Art, som Perrin har gennemført. I denne Forbindelse maa man dog ikke glemme, at man for blot 20 Aar siden stillede sig meget skeptisk overfor den kinetiske Teori, ja var tilbøjelig til rent at forkaste den. Grunden hertil var, at Varmeteoriens anden Hovedsætning paa denne Tid var traadt stærkt i Forgrunden, og det viste sig, at denne svigtede, naar man anvendte den paa de enkelte Molekulers Bevægelse forklaret udfra den kinetiske Teori. Og da man troede paa Hovedsætningens Ufejlbarlighed, maatte man forkaste Teorien. At anden Hovedsætning svigter, indser man let, naar man betragter en Partikel, der udfører Brownske Bevægelser. Paa Grund af Tyngden vil Partiklen falde, men paa Grund af de Brownske Bevægelser kan Faldet forandres til en momentan Stigning. De Vædskepartikler, der bringer Partiklen til at stige, maa miste Hastighed altsaa afkøles. Man har her et Eksempel paa, at der tages Varme fra et Legeme, der har Omgivelsernes Temperatur, og denne Varme omdannes til mekanisk Arbejde. Men dette er umuligt i Følge anden Hovedsætning. Hvis man nu ikke betragter en enkelt Partikel, men en hel Samling Partikler, saa vil der ganske vist være et vist Antal, der forbruger Varme derved, at Bevægelserne bringer dem til at stige, men der vil være lige saa mange, som tilfører Vædsken Varme, idet de Brownske Bevægelser bringer dem til at falde med større Hastighed, end Tyngden giver dem.

Taget som Helhed bliver Vædskens Temperatur hverken formindsket eller forøget, og anden Hovedsætning gælder altsaa for Systemet som Helhed. Men ogsaa for den enkelte Partikel vil Hovedsætningen gælde, naar man ikke betragter den i et enkelt Øjeblik, men i en lang Periode. Da Bevægelserne er tilfældige, vil deres Hastighed forøges lige saa mange Gange, som den formindskes, og den Varme, der i Gennemsnit tages fra Vædsken, vil altsaa være 0. De Brownske Bevægelser viser os altsaa ikke blot, at den kinetiske Teori er rigtig, men tillige, at anden Hovedsætning ikke er absolut rigtig, idet den svigter, naar vi betragter det enkelte Molekule for sig. Derimod gæl-

Digitized by Google

der Hovedsætningen, naar blot vi har med et stort Antal Molekuler at gøre. Nu indeholder 1 cm^3 selv med den største Fortynding, man kan opnaa med de eksisterende Pumper nemlig 10^{-5} mm Kvægsølvtryk, ca. 4×10^{11} Molekuler, og man indser, at anden Hovedsætning praktisk talt altid kan anvendes.

Studiet af de Brownske Bevægelser har altsaa ikke formindsket anden Hovedsætnings praktiske Gyldighed, men derimod givet den kinetiske Teori et solidt og uangribeligt Fundament.

Ur d'Arsonvalgalvanometerns utvecklingshistoria.[1]

Av Helmer Bäckström.

Under det sista århundradet hava konstruerats en mycket stor mängd olika galvanometrar, som likväl alla efter huvudprinciperna för sin byggnad låta sammanföra sig till ett fåtal grupper. En av de viktigaste av dessa omfattar de instrument, som i dagligt tal plägа benämnas d'Arsonvalgalvanometrar, eventuellt Deprez-d'Arsonvalgalvanometrar, efter den eller de båda franska forskare, som kanske mest bidragit till deras spridning. Det karaktäristiska för ett instrument av denna typ är att det äger en eller flera fast monterade magneter samt i fältet från dessa en rörligt upphängd spolformig strömledare. Genom storleken av dennas vridning bestämmes den genom densamma löpande strömmens styrka. Omkring denna galvanometertyp har under årens lopp en rätt så vidlyftig litteratur uppvuxit; något sammanförande av densamma har likväl ännu icke mig veterligen skett, om man undantager de kortfattade notiser, varmed N. H. Genung[2] och R. Arnoux[3] inledde sina uppsatser. Följande korta skildring utgör därför ett försök att i någon mån fylla denna lucka.

Redan tidigt möta vi sporadiska försök att begagna sig av den nyss omnämnda principen för galvanometerkonstruktioner. Den

[1] Denna uppsats utgör det huvudsakliga innehållet av ett föredrag, hållet inför Fysiska Sällskapet i Stockholm i oktober 1917.

[2] *N. H. Genung*: Lum. électr. *48*. 278. 1893.

[3] *R. Arnoux*: L'électricien (2) *9*. 289 och 311. 1895.

Digitized by Google

förste, som skall hava konstruerat ett instrument efter denna typ, torde sålunda hava varit William Sturgeon[4]), den hästskoformade elektromagnetens uppfinnare, som 1835 konstruerade en thermogalvanometer, där de båda ingående metallerna tillsammans bildade en liten ram, som alltså innehöll det termoelektriska lödstället. Denna lilla ram upphängdes sedan fritt rörlig i fältet från en stor stålmagnet. Bain[5]) lär 1841 ävenledes hava använt sig av samma princip vid flera av sina telegrafiska apparatanordningar. Vidare skall i 8:e upplagen av Encyclopaedia Britannica 1855 finnas en beskrivning över en galvanometer av Robertson[6]), vilket instrument även haft rörligt spolsystem.

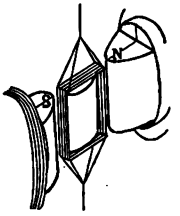


Fig. 1.

Av större betydelse blev likväl William Thomsons »siphonrecorder«[7]) av år 1867. Den viktigaste delen av detta speciellt som mottagningsapparat för den transatlantiska telegrafiens räkning konstruerade instrument utgöres av en galvanometer. I ett magnetiskt fält befinner sig en liten lätt, fyrkantig trådspole. Ursprungligen åstadkoms fältet av en kraftig stålmagnet av Jamins typ, d. v. s. den var uppbyggd av en hop tunna lameller. Sedermera utbyttes denna mot en elektromagnet, som för att möjligast koncentrera fältet hade avspetsade poler. För samma ändamål placerades dessutom en liten järnkärna innanför spolen (fig. 1). Strömmen tilldleddes ej genom upphängningstrådarne som vid senare galvanometerkonstruktioner ofta varit brukligt utan genom särskilda å figuren likväl ej utsatta tilledningstrådar. En liten kokongtråd överförde sedermera spolens rörelser till en liten sifon, vars ena skänkel befann

[4]) Se *R. Arnoux*: L. c.
[5]) Se *R. Arnoux*: L. c.
[6]) Se *R. Arnoux*: L. c.
[7]) Se *A. L. Ternant*: L'électricien *1*. 319, 366 och 460. 1881.

Digitized by Google

sig i ett kärl med lättflytande bläck, medan den andra göt en kontinuerlig linje därav å en av ett urverk dragen pappersremsa. Instrumentet var alltså självregistrerande, vilket var av stor betydelse, då härigenom telegrafistens arbete underlättades i hög grad. Därför vann också denna »siphon-recorder« en storartad spridning.

Från 1873 omnämnes en galvanometer av Maxwell[8]). En modifikation av hans instrument skall senare omnämnas.

Sådan var den ungefärliga ställningen vid 1880-talets inbrott. Vid denna tidpunkt sysselsatte sig fransmannen Marcel Deprez med ivriga motorstudier, i samband med vilka han även leddes in på galvanometerkonstruktioner. Ett par av dessa skola här om-

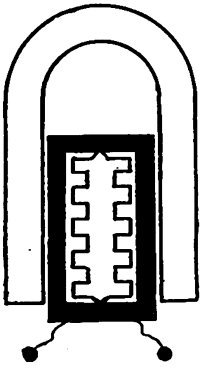


Fig. 2.

nämnas, oaktat de ej direkt tillhöra den galvanometertyp, som utgör vårt ämne. Såsom uppslagsgivande för d'Arsonval och utgångspunkter för dennes och Deprez' senare arbeten kommo de nämligen att spela en viktig roll för denna typs utveckling.

Det svåraste felet hos den vid denna tid vanliga nålgalvanometern var dess stora känslighet för lokala magnetiska störningar, vilket gjorde arbetet med dessa instrument synnerligen otrevligt. För att råda bot på detta fel införde nu M. Deprez 1880 en särskild riktmagnet[9]). Denna utgjordes av en vanlig hästskomagnet innanför vars skänklar spolen var fast monterad. Innanför denna befann sig slutligen den rörliga »nålen«, som i detta fall dock hade en mycket egendomlig form (fig. 2). Den utgjordes nämligen av en järnlamell

[8]) Se *R. Arnoux*: L. c.

[9]) Se *E. Hospitalier*: Lum. électr. 2. 52. 1880.

Digitized by Google

med rektangulära urtagningar och var fast förbunden med en visare, som å en halvcirkelformig skala angav vridningens storlek. Detta instrument hade onekligen vissa företräden framför äldre nålgalvanometrar, framför allt dess oberoende av lokala magnetiska störningar samt ringa svängningstid. Däremot åsamkar ju den stora direktionskraften, som en sådan riktmagnet medför, ringa känslighet. Dessutom voro utslagen ej proportionella med strömstyrkan.

Samma år, 1880, offentliggjorde Deprez även en annan galvanometerkonstruktion[10]) och nu med rörlig spole. Denna, som var placerad mellan en horisontell hästskomagnets båda skänklar, upptog så gott som hela längden av magneten (fig. 3). Deprez påpeker

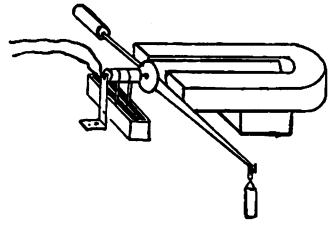


Fig. 3.

också, att han är den förste, som fullständigt utnyttjat denna. Spolen var fritt rörlig omkring sin axel och strömmen till- och avleddes genom tvenne i var sitt kvicksilverkärl neddoppade spetsar från axeln. Från spolen utgår vinkelrätt mot dess axel en hävstång, på vilken finnes en fast vikt å den ena armen och en förskjutbar å den andra. Genom att placera denna på lämpligt ställe å den graderade hävarmen kan man upphäva strömmens verkan.

Dessa båda instrument av Deprez utgöra förebilderna till den egentliga d'Arsonvalgalvanometern, som först omnämnes följande år, 1881. D'Arsonval[11]) tänkte sig saken så: Om vi i den först omnämnda Deprez-galvanometern läte spolen och den rörliga tagglamellen byta roller, så skulle vi ju bliva av med den besvärande riktkraften. Resultatet av hans funderingar visade sig i den galvanometertyp, som åskådliggöres av fig. 4.

Mellan skänklarne på den liggande hästskomagneten befinner sig fortfarande en spole, som likväl är rörlig omkring tvenne eggar.

[10]) *M. Deprez*: Lum. électr. *2*. 462. 1880.

[11]) Se *M. Deprez*: Lum. électr. *4*. 309. 1881.

Digitized by Google

Innanför spolen åter är lamellens motsvarighet, en järncylinder, monterad. Strömtilledningstrådarnes ändar äro nedstuckna i ett par små kvicksilverkoppar (*C* och *D* å figuren).

En följd av riktkraftens minskning yttrar sig i denna galvanometers jämförelsevis goda känslighet. Deprez anger, att om flera personer hållande varandra i händerna förenade instrumentet med ett Daniellelement, så erhölls ett utslag på 15 à 20°.

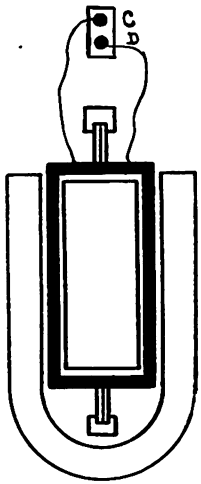


Fig. 4.

Denna galvanometer skiljer sig ju föga från den av William Thomson vid siphonrecordern använda. Deprez anger också vid beskrivningen, att det huvudsakligen skulle vara proportionerna och detaljerna, framförallt det fullständiga utnyttjandet av magneten, som är det nya.

Om sålunda denna Deprez-d'Arsonvalska galvanometer i princip knappast är något annat än en något modifierad form av den redan förut kända typen, så hava likväl de båda franska forskarne genom det energiska arbete, som de under de följande åren utförde på detta område, alltmer fäst uppmärksamheten vid denna instrumenttyp, och därigenom givit anledning till dess sedermera så storartade utbredning. Den närmaste förändringen gjordes av Deprez[12]) följande år, 1882. Han uppreste systemet: Magneten, spo-

[12]) *M. Deprez*: Lum. électr. *6*. 439. 1882. *M. Deprez et A. d'Arsonval*: C. R. *94*. 1347. 1882.

Digitized by Google

len och kärnan blevo sålunda vertikala (fig. 5). Spolen svängde ej längre om ett par eggar utan var spänd mellan tvenne silver- eller koppartrådar, vilka samtidigt tjänstgjorde som strömtilledare. Härigenom ökades känsligheten ytterligare, så att numera utslag erhölls redan för en ström av 10^{-7} amp. En annan fördel, som likväl även gällde den föregående galvanometern, var, att den vid strömbanans slutande blev aperiodisk.

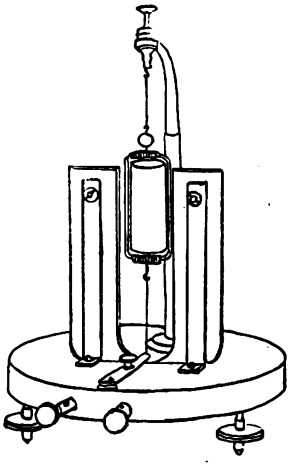


Fig. 5.

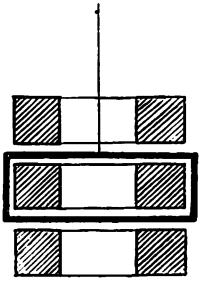


Fig. 6.

Sedermera kommo slag i slag nya modifikationer. Framför allt sökte man därvid åstadkomma fördelaktiga magnet-former och -kombinationer för att därigenom kunna pressa upp känsligheten. Ett exempel härpå bjuder oss ett instrument av Le Goarant de Tromelin[18]) 1883. Denne använde sig av trenne hästskomagneter med tämligen ringa vidd mellan skänklarne. Dessa placerades horisontellt riktade ovanför varandra med polerna åt samma håll (fig. 6) och så att oliknämnda poler gränsade till varandra. Avståndet mellan dem var endast 5 mm. Omkring den mellersta magneten var spolen upphängd och vridbar med omkring 20° spelrum. Denna galvanometer, som ävenledes var aperiodisk, hade god känslighet. Tromelin anger själv, att om man borttagit plattan från en med galvanometern förenad telefon och släpper ett järnfilspån på några mgr mot densamma, så erhåller man utslag.

[18]) *G. de Tromelin*: C. R. *97*. 995. 1883.

Digitized by Google

Det viktigaste inlägget från denna tid torde dock vara M. Deprez'[14]) av 1884. Det instrument, som därvid beskrives, är i huvudsak likt det förut omtalade. Hästskomagneten är nu åter liggande och de vid dess poler placerade polskorna (fig. 7) äro ursvarvade, så att de tillsammans forma en vertikal hålcylinder, i vilken en med visare försedd multiplikatorram svävar. Innanför denna en kärna, bestående av ett järnrör. Genom denna anordning, som längre fram blivit så gott som allenaförhärskande erhölls ett likformigt fällt, vadan också ut-

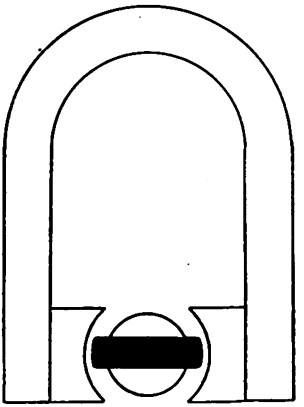


Fig. 7.

slagen blevo proportionella med strömstyrkan ända till 120°, medan det vid de föregående instrumenten redan vid 4 à 5° utslag ej längre kunde vara tal om proportionalitet. Däremot var känsligheten tämligen ringa, vilket ju ej är förvånande, då det rör sig om visarinstrument.

Ett i huvudsak likartat instrument omnämnes av W. C. Rechniewsky[15]) 1885. Vid detta var dock hästskomagneten stående, medan spolen var horisontellt uppspänd mellan tvenne trådar. Härigenom kunde visaren göras rörlig över en vertikal skala, vilket bl. a. för demonstrationsändamål kan vara fördelaktigt. En svaghet vid detta liksom de förut omtalade instrumenten med spolen uppspänd mellan strömtilledningstrådarne är att dessas elastiska egenskaper

[14]) *M. Deprez*: Lum. électr. *14*. 401. 1884.

[15]) *W. C. Rechniewsky*: Lum. électr. *17*. 393. 1885.

Digitized by Google

förändras genom den av strömvärmet orsakade temperaturstigningen. För att råda bot mot detta fel föreslår Rechniewsky, att tilledningstrådarne skola svärtas, för att dymedelst bättre utstråla värme. Instrumentet, som hade tämligen god proportionalitet i utslagen tillverkades av firman R. Barbier & C:o i tvenne typer, dels som voltmeter med spolmotstånd av 2300 Ω, varvid känsligheten var sådan, att ett utslag av 18° motsvarade 1 volt, dels som ampèremeter med 1,4 Ω motstånd och känsligheten $12^0 = 0{,}01$ ampère.

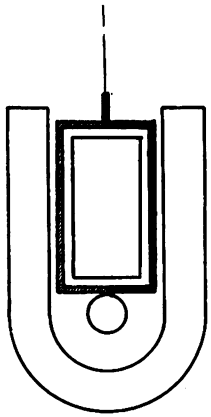


Fig. 8.

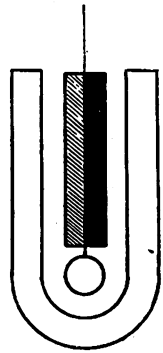


Fig. 9.

Följande år offentliggjordes en serie instrument av A. d'Arsonval[16]) själv. Bl. a. använde han sig liksom redan Sturgeon av principen med vridbar ledare i ett magnetfält för konstruktionen av termogalvanometrar. En av dessa (fig. 8) bestod av en liten »ram« (till hälften av koppar, till hälften av nysilver), upphängd medelst en kokongtråd i ett magnetfält. Vid en annan konstruktion (fig. 9) bestod den rörliga delen helt enkelt av tvenne metallstrimlor (koppar och palladium) fastlödda vid varandra. Dessa instrument bilda sedermera utgångspunkten för en serie andra apparater för strålningsmätningar (Boys); att ingå på alla dessa skulle dock föra för långt.

Fig. 10, som icke torde tarva någon förklaring, anger en annan galvanometer av d'Arsonval, med vilken han uppnådde en ganska

[16]) *E. Dieudonné*: Lum. électr. *20.* 17. 1886. *A. d'Arsonval*: Revue Intern. de l'électricité. *2.* 246. 1886.

Digitized by Google

stor känslighet. Med upphängningstrådar av 0,15 mm diameter och ett spolmotstånd av 2000 Ω erhölls utslag för $1{,}4 \times 10^{-8}$ amp.

1887 redogör E. Dieudonné för ett egendomligt instrument, som han sett å firman Carpentiers atelier. Dess konstruktör var M. Peschetto[17]), som sökte föröka instrumentets känslighet genom kombination av två spolar (fig. 11); för åstadkommande av dämpning voro dessa därjämte upplindade å kopparramar.

Från denna tid härstammar också det engelska instrument, som blivit kallat Maxwell-Jolins[18]) »dynamogalvanometer«. Häst-

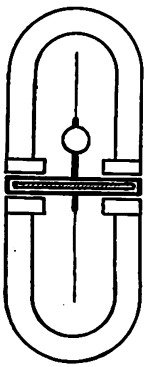


Fig. 10.

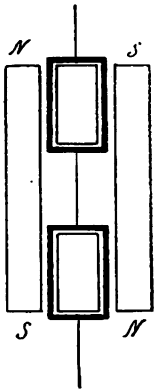


Fig. 11.

skomagenten, som stod med skänklarne nedåt var sammansatt av tre elementarmagneter. Likaledes var kärnan sammansatt av skilda stycken.

Icke mindre egendomliga än M. Peschettos nyss nämnda galvanometer förefalla ett par instrument av d'Arsonval[19]), för vilka han 1888 redogör. De voro framförallt anlagda på att vara så praktiska, att de även för industriellt bruk skulle kunna finna användning. Det var därför en huvudsynpunkt, att de skulle vara direkt avläsbara.

Det första av dessa instrument (fig. 12) härstammar visserligen ända från 1882 och hade 1883 eller 1884 varit utställt inför »la Societé de Physique«, fast det först nu omtalas i tryck. Detta instru-

[17]) Se *Dieudonné*: Lum. électr. 24. 225. 1887 samt *E. Gerard*: Lum. électr. 25. 117. 1887.

[18]) Se *J. Numro*: Lum. électr. 25. 539. 1887.

[19]) *A. d'Arsonval*: Lum. électr. 27. 569. 1888.

Digitized by Google

ment, som endast kan användas för mätning av tämligen starka strömmar, består av en horisontellt lagd hästskomagnet, från vars ena skänkel reser sig en vertikal järncylinder (*C*). Denna är vid sin bas omgiven av ett isolerat kärl fyllt med kvicksilver och i dess övre ända är likaledes ursvarvad en kvicksilverkopp. Från hästskomagnetens andra pol reser sig en ställning, som medelst en tråd uppbär det rörliga »ekipaget«, bestående av en metallställning (*BB'*) tillverkad av två tjocka koppartrådar. Från en vid denna anbragt tvärslå sänker sig en spets ned i kvicksilverkoppen å järncylindern (*C*). Från ekipaget utgår dessutom en horisontal visare, som pekar mot en runt

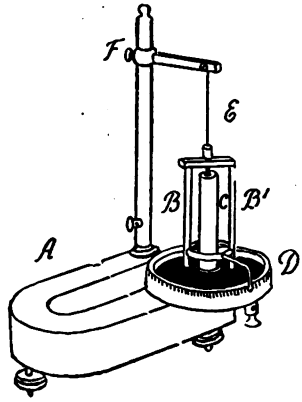


Fig. 12.

det undre kvicksilverkärlet anbragt skala. Strömbanan går sålunda från klämskruven å det undre kvicksilverkärlet, genom detta och upp genom »ekipaget« till kvicksilverkoppen i *C* samt därifrån genom järncylindern och magneten till nästa klämskruv. Vid strömgenomgång vrider sig då ekipaget kring magnetpolen *C*. Det största felet med detta instrument är att känsligheten ej kan ökas genom större varvantal hos strömledaren, varför det också endast blivit brukbart för starkare strömmar.

Den andra av d'Arsonval i detta sammanhang omnämnda galvanometern hade egendomliga cylindriska polskor, som lågo koncentriska. Som synes av fig. 13 vrider sig ej spolen kring sin centralaxel, som förut alltid varit fallet, utan kring sin ena kant. Förenad med spolen skulle då förutom visaren även en motvikt vara. Fördelen

Digitized by Google

med detta instrument var dess proportionalitet för utslag ända upp till 180 à 300°.

I magnetanordningen bestod det karaktäristiska även hos den Taylorska[20]) galvanometern (fig. 14). Två horisontella, bredvid varandra lagda hästskomagneter (vardera uppbyggd av tre delmagneter) hava de mellersta skänklarne, som f. ö. magnetiskt äro av samma slag, omslutna av spolen. Över och under magnetstaplarne befinna sig ytterligare tvenne magneter med större vidd mellan skänklarne. En annan egendomlighet är, att spolens upphängning var bifilär.

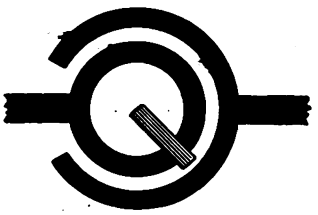


Fig. 13.

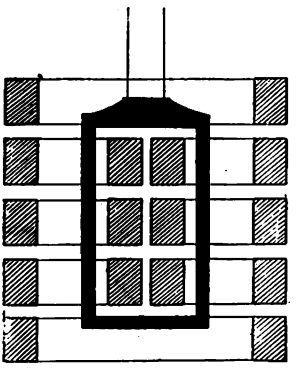


Fig. 14.

E. Gerard[21]) beskriver 1889 en differentialgalvanometer, som förutom genom sina dubbla ledningskretsar i spolen endast skiljer sig från Deprez' instrument därigenom, att de av denne införda cirkulärt ursvarvade polskorna äro förskjutbara och med skruvar kunna inställas på önskat avstånd.

Ytterligare några instrument från 1880-talet skola senare i annat sammanhang omnämnas. Det är emellertid redan nu tydligt, att årtiondet karakteriseras av en synnerlig livlig verksamhet på detta område. Så gott som alla de omnämnda galvanometrarna från denna tid härstamma dessutom från Frankrike, som ju också gav signalen till den livliga verksamheten genom den av Deprez och d'Arsonval konstruerade typen från decenniets första år. Denna omnämnes f. ö.

---

[20]) (Taylor) Lum. électr. *29*. 180. 1888.

[21]) *E. Gerard*: Lum. électr. *33*. 545. 1889.

Digitized by Google

redan nu såsom klassisk [22]), och än i dag benämnes ju oftast galvanometrar med rörlig spole efter dessa forskare. Det är därför icke underligt, om man ofta förbiså, att redan före den Deprez-d'Arsonvalska galvanometerns framträdande liknande instrument blivit konstruerade av äldre vetenskapsmän såsom Thomson, Maxwell och andra. Ett rent misstag i detta avseende gjorde sig J. N u m r o [23]) skyldig till, då han vid skildrandet av Maxwell-Jolins dynamometer nästan stämplar denna som plagiat. Han skriver nämligen i Lumière électrique: Nous avions déjà la dynamo-telephone de M. S. Thompson; Mm Maxwell et Jolin ayant dernièrement modifié le galvanomètre de Mm d'Arsonval et Deprez ont cru devoir le décorer du nom de dynamo-galvanomètre . . .« Och längre ned: »Il est à peine besoine de faire remarcquer que, à part la position renversée de l'aimant ce galvanomètre ne diffère en rien de celui qui est universellement connu sous le nom de galvanomètre Deprez-d'Arsonval«. Misstaget kunde naturligtvis icke göras opåtalt, utan konkurrenstidskriften L'électricien [24]) såg sig föranlåten påpeka, att Maxwell, »l'illustre savant anglais« dog redan 1879, d. v. s. två år före det Deprez-d'Arsonvalska instrumentet såg dagen, vadan det alltså från Jolins sida endast var en rättvis gärd åt den förste uppfinnaren att uppkalla sin modifikation av instrumentet efter honom.

(Fortsättes.)

Fysik i Skolen.

Varmestraalingsforsøg.

Af Johs. Kofoed.

Der er, efter hvad jeg har hørt, en Del Skoler, der har anskaffet det af mig her i Tidsskriftet omtalte Galvanometer (se XV. Aarg., 3. Hefte). Jeg tænker mig derfor, at det mulig kunde interessere nogle af Tidsskriftets Læsere at høre noget om nogle Varmestraalingsforsøg,

[22]) Se *E. Meylan*: Lum. électr. 25. 170. 1887.
[23]) *J. Numro*: Lum. électr. 25. 539. 1887, förut omnämnd.
[24]) L'électricien *11*. 624. 1887.

Digitized by Google

der kan udføres ved Hjælp af nævnte 1) Galvanometer, den i Fys. Tidsskr. XVI 1918 Side 215 omtalte 2) Termostøtte og 3) nogle Hjælpeapparater, som undertegnede har konstrueret og fremstillet til Demonstrationsforsøg.

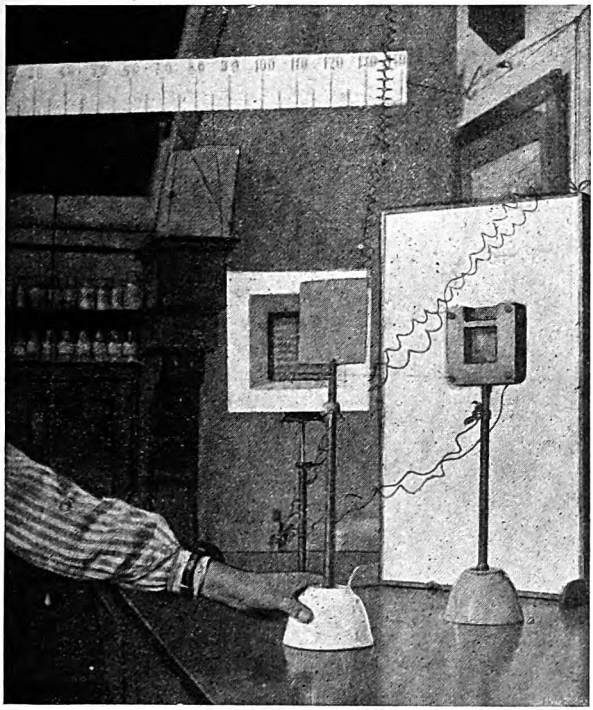


Fig. 1.

Som Varmekilder anvender jeg en Gaslampe, i hvilken Flammen efter Behag kan gøres lysende eller ikke lysende (Bunsen, Teclu), Stearinlys, elektriske Glødelamper, Leslies Terning og fortrinsvis en lille hjemmelavet elektrisk Glødeovn (yderst tilhøjre i Fig. 1). Det er en flad Daase lavet af Plade- og Baandjern. Dens Forside ses paa Billedet. Daasen er lukket bagtil og ved Siderne, men fortil er der en kvadratisk Aabning, saaledes at de egentlige Varmeelementer (Traadspiraler af Nikkelintraad) ligger lige ud for

Digitized by Google

denne. Traadspiralerne er serieforbundne og udspændte mellem to vandrette Skiferhylder inde i Daasen. Paa Daasens Bagside er der paa en lille Skiferplade anbragt to Klemskruer, ved hvis Hjælp Apparatet kan forsynes med Byelektricitet (4—10 Ampere). Ved at variere Strømstyrken kan man da efter Behag faa mørke og mere eller mindre lyse Varmestraaler. Ønsker man at undgaa direkte Udstraaling fra

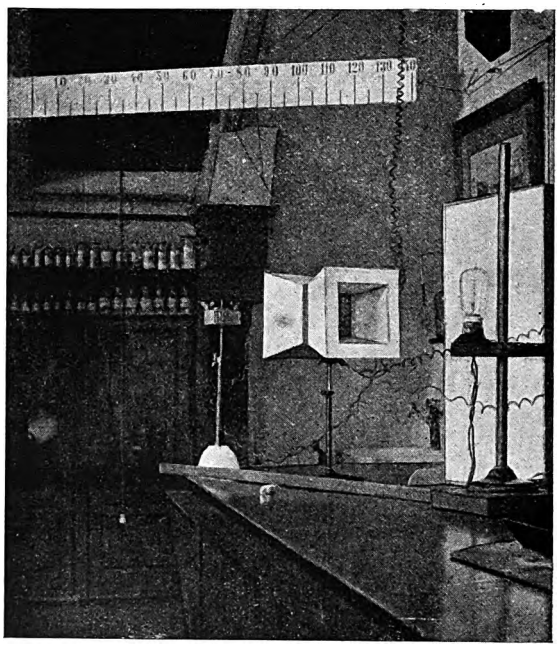


Fig. 2.

Traadspiralerne og i Stedet derfor arbejde med Straaler fra en tynd Metalplade, kan en saadan skydes ned bag den kvadratiske Aabning (se Fig. 1). Apparatet er indvendig udforet med Marmor og Asbest. Som Figuren viser kan det hæves og sænkes.

Den egentlige Mening med Fig. 1 er iøvrigt at vise Opstillingen af Apparaterne til Forsøg over mørke (og lyse) Varmestraalers T i l b a g e k a s t n i n g. Længst fremme ses et Stativ med en Messingplade, hvis ene Side er blank den anden mat, den blanke Side vender bort fra Beskueren. Elevernes Pladser er ude til venstre; omtrent det

Digitized by Google

halve af Projektionsgalvanometrets Maalestok ses foroven i Billedet, og Termostøtten er midt i dette. Naar Apparaterne staar som vist, kommer der et Udslag paa Galvanometret, fjernes Messingpladen ophører Udslaget, Straalerne tilbagekastes altsaa af Messingpladen. Drejer man Messingpladen langsomt — se Haanden paa Fig. 1 — bliver Udslaget større eller mindre; man finder saaledes let den Stilling, Pladen skal indtage for at give den rigeligste Tilbagekastning mod Støtten. Tegner man nu Kridtstreger paa Bordpladen for 1) de indfaldende Straaler, 2) de tilbagekastede og 3) Pladens Normal viser det sig, at den fra Lyslæren kendte Tilbagekastningslov ogsaa gælder for mørke Varmestraaler. Det vil derefter ligge nær at prøve den matte Side af Messingpladen, andre blanke og matte Plader, almindelige Spejle (ringe Tilbagekastning, stor Indsugning af mørke Varmestraaler) o. s. v.

Til Forsøg over Afstandsloven anvender jeg et Apparat, der er afbildet i Fig. 2 længst tilbage paa Bordet. Det er en lille Marmorblok, paa hvis fremadvendte Side der er udspændt 4 lige lange, lige tykke og lige store Traadspiraler (Nikkelin) serieforbundne med hinanden og med endnu een Traadspiral af samme Størrelse som de fire; denne sidste, som jeg i det følgende vil kalde T_1, medens de fire kaldes T_4, er anbragt paa Apparatets Bagside. Marmoret er saa tykt (4—5 cm), at der i k k e kan være Tale om nogen Varmetransport af Betydning g e n n e m Blokken i den Tid, Forsøget varer. (Blokken kan ogsaa fremstilles af 2 Skifferplader, imellem hvilke der lægges flere Lag Asbest; det hele kan saa enten kittes eller boltes sammen.) Apparatets Klemskruer ses paa Figuren. Der anvendes Byelektricitet. Termostøtten stilles midt paa Bordet og bringes i Forbindelse med Galvanometret. T_4 er vendt mod Støttens ene Side, mod den anden en Glødelampe. Der flyttes frem og tilbage med Apparaterne til Galvanometret intet Udslag giver. Afstanden mellem T_4 og Termostøtten maales. T_1 drejes om mod Termostøtten; medens nu den elektriske Glødelampes Plads forbliver den samme, flyttes T_1 saa langt ind mod Støtten, at Galvonometerudslaget igen bliver Nul. Afstanden mellem T_1 og Termostøtten maales, den er da paa det nærmeste halv saa stor som før. I vedføjede Tabel ses Eksempler fra anstillede Forsøg.

Iøvrigt kan man med de omtalte Apparater udføre en stor Mængde andre Varmestraalingsforsøg. Som Eksempler skal jeg blot nævne følgende: Man kan vise, at en Glasplade indsuger forholdsvis

Digitized by Google

Den anvendte Strøms Styrke i Ampere	Traadspiralerne T_1 og T_4	Afstand mellem T_4 og Termostøtte cm.	Afstand mellem T_1 og Termostøtte cm.
4,1	Intet synligt Lys	20	10
4	Intet synligt Lys	38	18,5
5,5	Gløder svagt	30	16
6,2	Rødglødende	47	24

mange mørke Varmestraaler, og at en Metalplade standser dem. Man kan vise, at en Bunsenlampe giver mindre Straalevarme, naar Flammen er ikkelysende, end naar den lyser. Forsøg over forskellige Overfladers forskellige Udstraalingsevne med Leslies Terning; jeg anvender, som man vel i Almindelighed gør, koghedt Vand til Opvarmning af Terningen, men jeg har tænkt paa at fremstille een, der blev opvarmet ad elektrisk Vej (Varmeelementer i Oljebad).

Et nemt lille Varmestraalingsforsøg kan anstilles alene med den varme Haandflade og Termostøtten. Holdes Haandfladen ca. 10 cm fra Termostøtten faas et stort Udslag. Holdes nu den anden Haand paa Støttens anden Side forsvinder Udslaget, naar Afstandene mellem Hænder og Støtte omtrent er ens.

Danske Eksamensopgaver.

Studentereksamen Maj—Juni 1918.

Skriftlig Fysik for Privatister.

Der ønskes en kortfattet Besvarelse af nedenstaaende Spørgsmaal. Besvarelserne skal forsynes med samme Nummer som de tilsvarende Spørgsmaal, hvis Ordlyd ikke behøver at gengives.

1) Beregn Centripetalkraften ved en Cirkelbevægelse, naar Cirklens Diameter er 1 m, Vægten af det bevægede Legeme 400 g og Omløbstiden 2 Sek. Beregningen udføres saavel i C. G. S. Systemet som i det tekniske (praktiske) System. Hvilket Arbejde udfører Kraften, naar Legemet gaar Cirklen en Gang rundt?

Digitized by Google

2) Et Legeme (Vægt 2 kg) kastes vandret ud med Hastigheden 6 m i 20 m Højde over Jorden. (Tyngdens Acceleration = 10 m).

I hvilken Bane gaar det?

Hvor længe er det om at naa Jorden?

Hvor langt er det da ført frem i vandret Retning?

Hvilket Arbejde er udført til dette Øjeblik?

3) Hvilken Masse har det Legeme, der i København paavirkes af Tyngden med en Kraft = 1 Dyn.?

4) Et Legeme af Vægt 1000 kg har paa vandret Bane en Hastighed af 10 m; det overvinder en Gnidningsmodstand, og Gnidningskoefficienten er 0,1. Hvor langt løber det, inden det standser?

5) Hvad forstaas ved et Penduls reducerede Længde, og hvoraf afhænger den?

6) Hvad hedder Luftarternes Tilstandsligning? Angiv de deri indgaaende Størrelsers Betydning.

7) En Maalestok af Messing er inddelt ved 15°; hvor stor er Afstanden mellem Delestregerne 10 cm og 70 cm ved 25°? Messings Udvidelseskoefficient er 0,000019.

8) Hvormange Ergs Arbejde kan udføres af den Varme, som frigøres ved, at $^1/_3$ g mættet Vanddamp ved 100° fortættes?

9) Hvoraf afhænger en Linses Brændvidde? Hvor stor er Krumningsradius i en plankonveks Linse med Brændvidde 20 cm og Brydningsforhold 1,5?

10) Under hvilke Omstændigheder kan man faa total Tilbagekastning af en Lysstraale?

11) Solen kulminerer i København

den 12te Februar Kl. $12^t\ 24^m\ 5^s$

den 12te Oktober Kl. $11^t\ 56^m\ 24^s$.

Find Tidsæqvationen paa disse Dage.

12) Hvad forstaas ved en Leders Kapacitet, og hvoraf afhænger den?

13) To Tørelementer har hver en indre Modstand 0,1 Ohm, og deres elektromotoriske Kræfter er henholdsvis 1,5 Volt og 1,3 Volt. De positive Poler forbindes med en Ledning paa 2,6 Ohm, de negative med en Ledning paa 1,2 Ohm. Beregn Strømstyrken.

14) Angiv Reglen for Fremkomsten af Induktionsstrømme ved et Lederstykkes Bevægelse i et Magnetfelt, naar Lederstykket, Kraftlinierne og Bevægelsesretningen er vinkelret paa hinanden.

Digitized by Google

Løsninger.

1) Centrifugalkraften $= 4\pi^2 . 10^4$ Dyn $= \frac{0{,}4 \cdot \pi^2}{9{,}81}$ kg. Arbejdet $= 0$. 2) Banens Ligning med Udgangspunktet til Begyndelsespunkt, x-Aksen vandret og y-Aksen positiv nedad, er $5x^2 = 36y$. 2 Sek. 12 m. Arbejdet = 40 kgm. 3) $\frac{1}{982}$ g. 4) 51,0 m. 7) 60,0114 cm. 8) $7{,}52 . 10^0$ Erg. 9) $r = 10$ cm. 11) 12te Februar: $+ 14^m 24^s$; 12te Oktober: $- 13^m 17^s$. 13) 0,05 Ampère.

Anmeldelser.

K. Prytz: Læren om faste Legemers Bevægelse I. Jul. Gjellerups Forlag, København 1918. 67 Sider. Pris indb. 2,75 Kr.

Den her foreliggende Bog indeholder betydelige Dele af det Stof, man sædvanlig betegner som rationel Mekanik: de almindelige Sætninger om en Massedels Bevægelse, Anvendelsen af disse Sætninger paa forskellige Bevægelser samt forskellige Sætninger vedrørende Rotation om en fast Akse, svingende Bevægelse og Bølgebevægelse.

Behandlingen af Stoffet adskiller sig dog i væsentlig Grad fra den sædvanlige, idet det øjensynlig har været Forfatteren magtpaaliggende at faa det i Forgrunden, som staar den praktiske Fysik og Tekniken nærmest. Ved velvalgte Eksempler illustreres en Række Anvendelser, som kan gøres af de almindelige elementære Sætninger fra Bevægelseslæren; saaledes behandles de Spændinger, som opstaar, naar en Kraft sætter et Legeme i Bevægelse, Projektilets Bevægelse i det danske Fodfolkgevær, forskellige Anvendelser af Loven om Stødet f. Eks. Hammeren og Ambolten, en Elektrons Bevægelse i et magnetisk og et elektrisk Felt m. m.

I Bogens sidste Afsnit, der behandler Rotationen, den svingende Bevægelse og Bølgebevægelsen, har Forfatteren paa nogle Punkter nøjedes med at give de gældende Sætninger uden Bevis og har derved opnaaet at faa betydelig mere med trods Bogens begrænsede Omfang end det ellers vilde have været muligt, og det forekommer mig, at Fremstillingen i Almindelighed har vundet ved, at den ikke tynges

Digitized by Google

af de lange Udviklinger, som vilde være nødvendige til en fuldstændig almindelig Behandling med tilhørende Bevisførelse. Man finder saaledes en let overskuelig Behandling af dæmpede Svingninger, som ialt fylder blot $1^1/_2$ af Bogens Oktavsider.

Under Bølgebevægelsen, som afslutter Bogens sidste Afsnit, findes behandlet Vandbølgerne i en Kanal og Længdesvingningerne i en Stang.

I sin korte Fortale til Bogen anfører Forfatteren, at Læren om Legemernes Rotation vil blive taget op til fuldstændigere Behandling i et kommende Skrift, der skal slutte sig til det foreliggende.

Bogens Fremstilling er som Regel kortfattet og klar og ved en Gennemlæsning har jeg kun fundet faa Punkter, som jeg synes burde have været behandlet anderledes. Blandt disse skal jeg anføre Formuleringen af Inertiens Lov. I første Afsnit af Stykket om Inertiens Lov anføres, hvorledes et fast Legeme kan bevæge sig, naar det er frit for Paavirkning fra andre Legemer (Translation og Rotation); i andet Afsnit siges, at »naar man ikke beskæftiger sig med Legemets Rotation, kan man udtrykke Inertiens Lov saaledes: Et Legeme, der er frit for Paavirkning udefra vil gaa i en ret Linie med konstant Hastighed«.

Da der i Afsnittet umiddelbart før er sagt, at man »til Fysikens Brug tager den Definition af Begrebet Kraft, som er betegnet med Evnen til Hastighedsmeddelelse« ... og »Paavirkningen udefra« i andet Stykke af Afsnittet om Inertiens Lov vel bør forstaas som en Kraft, synes jeg, at Sammenhængen mellem Inertiens Lov og Kraftdefinitionen burde være omtalt. Efter at der i det følgende Afsnit om Kraftens Definition er gjort den Abstraktion, at der kun tales om en Massepartikel, siges det, at Afvigelsen fra den retlinede Bevægelse i Følge Inertiens Lov skyldes Paavirkningen fra et andet Legeme, der jo saa maa forstaas paa samme Maade som »ude fra« i Stykket om Inertiens Lov.

Betragter man alene en Massepartikels Bevægelse, faar jeg som Resultat, at Inertiens Lov, saaledes som den er fremsat, siger to Ting, nemlig at Afvigelsen fra den retlinede Bevægelse skyldes en Kraft, hvad der er en Selvfølge i Følge Kraftdefinitionen, og at en Kraft stammer fra et andet Legeme end det, som bevæger sig, hvad der er en Erfaringssætning.

Den i første Stykke omtalte Sætning gældende for et fast Legeme

Digitized by Google

med Udstrækning vilde jeg foretrække at opstille som Følge af Inertiens Lov gældende for en Massepartikel i Forbindelse med Sætningen om Aktion og Reaktion.

S. 11 omtales og defineres Masse udførligt efter at have været berørt et Par Gange før. Derefter siges det, at Faldakcelerationerne for to Legemer, der holder hinanden i Ligevægt paa en Vægtskaal, maa være lige store, fordi de paavirkes af lige store Kræfter. Vilde det ikke være rigtigere at sige, at Kræfterne, hvormed de paavirkes i Følge den opstillede Kraftdefinition, er lige store, fordi Akcelerationerne er lige store?

S. 36 omtales den afbøjende Kraft, som virker paa en Elektron i et magnetisk Felt, og dens Størrelse angives uden nærmere Forklaring. Trods en efterfølgende Henvisning til Elektricitetslæren synes jeg, det vilde have været rimeligt at forklare, hvorledes Udtrykket for Kraften findes.

S. 47 omtales under Kraftmoment den Bevægelsesmængde, som en Kraft kan meddele et Legeme, der kan dreje sig om en Akse, og der henvises til en Sætning S. 14 om Tillæg i Bevægelsesmængde. Udviklingen S. 14 er dog foretaget for en Massepartikel, og det Tryk, som Aksen udøver paa Legemet vinkelret paa Aksen, omtales ikke, saa at Læseren nødes til selv at anstille Overvejelser, som rettere burde findes i Bogen.

Skønt det ikke udtrykkelig angives for hvem Bogen er bestemt, har Forfatteren jo sikkert først og fremmest maaske udelukkende tænkt Bogen anvendt ved Forelæsningerne paa Polyteknisk Læreanstalt eller lignende Anstalter. Som Helhed vil det heller ikke være muligt at anvende den i Gymnasiet. Derimod mener jeg, at Bogen vil være meget at anbefale for Lærere til Gennemlæsning. Der vil let i den findes Ting, som det kan være nyttigt at beskæftige sig med ved Gymnasieundervisningen, særligt fordi det efter min Mening vilde være gavnligt, om man ved denne Undervisning vilde lægge noget mere Vægt paa den mekaniske Del af Fysiken, end det for Tiden i Almindelighed sker. En grundig Undervisning i de mekaniske Grundsætninger anvendt paa Eksempler fra Fysik og Teknik vil være at foretrække frem for en Kundskabsmeddelelse om de nye, nyere og nyeste Erobringer, som er gjort paa Fysikens Omraade, hvor interessante disse iøvrigt end er.

J. P. Jacobsen.

Digitized by Google



Dr. phil. F. Barmwater.

Natten mellem den 29. og 30. Novbr. døde Dr. phil. *F. Barmwater*. Endnu den 27. havde han, skønt han slet ikke følte sig rask, undervist sine Timer, pligttro som han var til det yderste af sin Evne.

Med Dr. Barmwater har vi mistet en meget dygtig og afholdt Fysiklærer og en usædvanlig sympatetisk Personlighed. Hans Betydning for Fysikundervisningen i Gymnasiet var ikke ringe, særlig ved Overgangen fra den gamle mat.-naturv. Retning til den ny. Han havde Sæde i det Udvalg, der udarbejdede den ny Læseplan for Gymnasiet, og han udgav 1906—07 en Række Lærebøger, der bliver meget anvendt i Skolerne, og hvori han havde tilrettelagt mange fysiske Øvelser, der kan udføres med forholdsvis simple Midler, og ved hvilke Eleverne faar gennemarbejdet det Stof, de i deres Pensum beskæftiger sig med. Derved blev han en Støtte for de Lærere, der ikke havde Tid og Lejlighed til selv at udarbejde sig de ny Metoder.

Digitized by Google

Det var i det hele Dr. Barmwaters pædagogiske Grundlov, at Fysikundervisningen skulde drives paa eksperimentelt Grundlag, og at de unge selv skulde leve med i, selv skulde gennemtænke og bearbejde, hvad de skulde lære i Skolen, idet det naturligvis laa langt fra hans Tanke derved at give dem den Forestilling, at de blev smaa Videnskabsmænd. Dette, at faa Eleverne til selv at arbejde med, førte ham til i Astronomiundervisningen at indføre Brugen af Almanaken, der sikkert har gjort Stoffet langt mere levende og tilgængeligt for mange af de unge.

Dr. Barmwater underviste ved N. Zahles Skole, Borgerdydskolen i Stockholmsgade og ved Polyteknisk Læreanstalts Adgangskursus. Desuden var han Docent ved Farmaceutisk Læreanstalt. Ved disse to Læreanstalter udførte han et højst fortjenstfuldt Arbejde, idet han med det allernødtørftigste Timetal gav en solid og værdifuld Undervisning. I Skolerne morede det ham at færdes mellem de unge, der holdt meget af ham. Han stillede i det daglige ret store Fordringer til dem, men i Virkeligheden var han et meget blødt Gemyt, og var det ved Eksamen ganske uundgaaeligt for ham at give en rigtig daarlig Karakter, var han selv den mest bedrøvede, hvad enten han optraadte som Lærer eller som Censor. En Del Aar virkede han ogsaa ved Seminarier og udgav til Brug for Undervisningen der en Del Lærebøger, der havde til Formaal at give Eleverne et Grundlag, hvorpaa de kunde bygge den elementære Undervisning, de muligvis skulde praktisere i Folkeskolen.

Desuden var Dr. Barmwater med til at udarbejde Læseplan og Eksamensfordringer til »Pigeskolens Faglærerindeeksamen« i Fysik og Kemi og var den af Ministeriet udnævnte Censor ved denne Eksamen. Han stillede de skriftlige Opgaver, der var valgt med stor Omtanke og Forstaaelse af, hvad man burde fordre af Eksaminanderne, og tillige viste hans store Belæsthed og hans Evne til stadig Fornyelse.

Dr. Barmwater tog Doktorgraden i 1898 med en Afhandling om det osmotiske Tryk, og han fortsatte indtil sin Død eksperimentelle Undersøgelser over dette Emne. Arbejdet i det lille Laboratorium, han havde indrettet sig paa den polytekniske Læreanstalt, omfattede han med den største Kærlighed og anvendte dertil al den Tid, han kunde afse fra sit Undervisningsarbejde. Det havde været hans Haab, at han om et Par Aar kunde have ofret det endnu mere Tid, og dertil havde han glædet sig meget.

Digitized by Google

Det er et arbejdsomt og stræbsomt Liv, der nu er afsluttet, men det er ikke levet forgæves, og Dr. Barmwater vil længe blive mindet af alle dem, der skylder ham Tak for, hvad han har givet dem af værdifuldt og godt.

Sally Salomonsen.

Ur d'Arsonvalgalvanometerns utvecklingshistoria.

Av Helmer Bäckström.

(Forts. från sid. 24).

Det var en brokig samling instrument, som under 1880-talet såg dagen, och man kan knappast värja sig från intrycket, att en viss planlöshet och nyckfullhet gjorde sig gällande vid denna massproduktion av olika galvanometerkonstruktioner. I det avseendet stå vi nu inför en vändpunkt. Visserligen framträda även under den kommande tiden då och då nykonstruerade instrument, det huvudsakliga arbetet nedlägges dock på att utforska de redan befintliga samt taga reda på de faktorer, som äro bestämmande för deras användbarhet. Därvid visar det sig, att ur 1880-talets kaotiska virrvarr av instrument har den ursprungliga d'Arsonvalska galvanometern utgått med segern, och det är detta instrument i den form det erhöll av Deprez 1884 (cirkulärt ursvarvade polskor och koncentrisk cylinderformig järnkärna), som bildar utgångspunkten för de flesta framtida arbeten på detta område.

Vid övergången till 1890-talet framträdde dock i England en galvanometerform, som jämte den Deprez-d'Arsonvalska förmått att hävda sin ställning och än i dag finner användning framför allt i konstruktörernas hemland. Detta instrument leder sitt ursprung från professor W. E. Ayrton[25]) och hans medhjälpare, T. Mather och W. E. Sumpner. De hävdade, att spolen bör göras mycket lång och smal och att järnkärnan skulle borttagas. Mather[26]) undersökte dess-

[25]) *W. E. Ayrton, T. Mather och W. E. Sumpner:* Phil. Mag. *30.* 58. 1890.
[26]) *T. Mather:* Phil. Mag. *29.* 434. 1890.

Digitized by Google

utom vilken sektion spolen bör hava och fann, att denna lämpligast göres sådan, att de båda skänklarnes tvärsnitt bilda tvenne varandra tangerande cirklar. Såsom exempel på ett praktiskt utförande av den Ayrton-Matherska galvanometern kan ett instrument från firman Paul i London [27]) omnämnas (fig. 15). Där är spolen innesluten i ett silverrör, som dels tjänstgör som skydd, dels verkar elektromagnetiskt dämpande på svängningarne. Hela denna spolcylinder är sedan upphängd i ett yttre rör, vid vilket det vid transport kan fastklämnas medelst en fjäder.

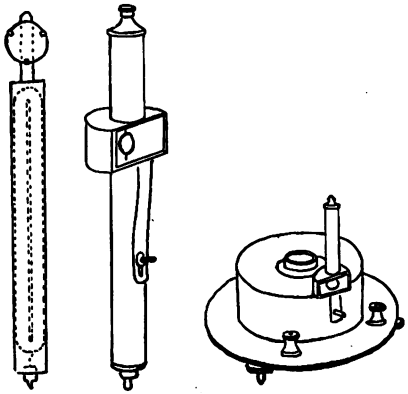


Fig. 15.

När de mer systematiska undersökningarne på 1890-talet började komma i gång på allvar, så var det framför allt en fråga, som tilldrog sig intresse, och det var frågan, huru känsligheten i möjligaste mån skulle kunna uppdrivas. Classen [28]) kom därvid 1895 till den slutsatsen, att detta bäst ernås, om galvanometerrullen göres smal och lätt (Aluminiumtråd kunde eventuellt användas) samt magnetfältet ej alltför starkt. Som ersättning för att fältet försvagades skulle i stället upphängningstråden göras så tunn, att dess riktkraft blir ringa. H. Sack [29]) återigen hade en helt annan uppfattning. Visserligen minskas spolens tröghetsmoment med dess bredd, men samtidigt minskas ju även dess vindningsarea. Vidare ökas, om spolen göres för smal, svårigheterna att innanför spolen anbringa en järnkärna. En

[27]) L'électricien (2) *4*. 128. 1892. Lum. électr. *45*. 390. 1892.
[28]) Elektrot. Z. S. *16*. 676. 1895.
[29]) Elektrot. Z. S. *17*. 587. 1896.

Digitized by Google

sådan åstadkommer dock både starkare och jämnare fält, vilket ur flera synpunkter är fördelaktigt. Classens förslag, att aluminium skulle användas till trådvindningarne, är mindre gott, aluminium besitter nämligen magnetiska egenskaper, och man måste akta sig för att få spolen magnetisk. Därtill kommer att fältstyrkan varierar med temperaturen, vadan man har ytterligare skäl att undvika aluminiumtråden med dess stora motstånd och ty åtföljande joulevärme. Som materiel till spolramen föreslår han koppar, men bör ramen helst vara öppen för att ej verka i alltför hög grad dämpande.

Et originellt uppslag lämnar H. Abraham[30]) 1896. För att få hög känslighet fordras stor fältstyrka hos magneten och liten direktionskraft hos upphängningstråden. Då denna senare dock måste kunna uppbära spolen, kan man ej i oändlighet minska dess diameter. Kan direktionskraften sålunda ej förminskas huru långt som helst, så måste man söka kompensera densamma, och detta gör A. genom att förlägga spolens tyngpunkt utanför rotationsaxeln. Denna tyngdpunktsförändring kan dels åstadkommas genom en liten övervikt dels genom att luta instrumentet. Härvid böra vi minnas, att vid denna tid spolen i allmänhet hölls spänd mellan de båda tilledningstrådarne.

1897 behandler Des Coudres[31])i en längre artikelserie över »Konstruktionsgründsätze und Leistungsfähigkeit unserer Spiegelgalvanometer« även d'Arsonvalgalvanometrarne och lämnar därvid en rad anvisningar av olika slag. Angående galvanometerns dämpningsförhållanden påpekar han — vad f. ö. redan Sack m. fl. gjort — att dessa äro beroende av samma faktorer som känsligheten, vadan faktiskt en gräns för dennas ökande finnes. »Unendlich gesteigerte Empfindlichkeit, unendlich stark gedämpft, also unendlich unbrauchbar«.

»Sur le maximum de sensibilité des galvanomètres à cadre mobile« är ämnet även för C. Féry[32]) 1899. Behandlingen är uteslutande teoretisk. G. Kümmel[33]) åter (1901) giver även en jämförelse mellan olika instrument av d'Arsonvaltyp, varvid det särskilt är deras »gränsmotstånd«, som intresserar honom. Galvanometerns dämpningsförhållande ändras nämligen med kretsens motstånd, och

---

[30]) *H. Abraham:* C. R. *122.* 882. 1896.

[31]) *Des Coudres:* Z. S. f. Elechtrochemie *3.* (417) (441) (465) 489. 513. 1897.

[32]) *C. Féry:* C. R. *128.* 663. 1899.

[33]) *G. Kümmel:* Z. S. f. Elechtrochemie 7. 745. 1901.

Digitized by Google

för ett visst gränsvärde på detta övergår galvanometern till att bliva aperiodisk. Just vid gränsen härtill besitter instrumentet sina fördelaktigaste egenskaper, vilket särskilt framgått av en del undersökningar å fysikalisk-tekniska riksanstalten i Charlottenburg.

En särdeles ingående behandling har W. Jaeger[34]) i en serie undersökningar ägnat d'Arsonvalgalvanometern, och det plägar även vara hans framställning, som tages till grund för handböckernas redogörelser över detta område. Andra författare, som mera allvarligt sysselsatt sig med hithörande frågor äro bl. a. W. P. White[35]), H. Dieselhorst[36]), E. Dibbern[37]) och H. Rohman[38]).

Ett intressant uppslag gavs av M. Reinganum[39]) 1909, då han föreslog införandet av en liten magnetstav vid spolen och riktad vinkelrätt mot fältet. Denna kommer att motverka direktionskraften och sålunda öka känsligheten. Emellertid visade Dibbern[40]), att det huvudsakligen är strömkänsligheten, som på detta sätt ökas, under det voltkänsligheten tilltar mer sakta. Då dessutom faran för osäkerhet av 0-läget blir stor genom införandet av sådana järnstavar, så är det tydligt, att man icke får hoppas alltför mycket av detta tillvägagående.

Reinganums uppslag erinrar om ett liknande av P. Weiss[41]) för att kunna erhålla konstant känslighet å galvanometern. De »permanenta« magneterna försvagas nämligen med tiden och därmed avtar ju även instrumentets känslighet. För att skydda sig mot detta insatte Weiss en liten mättad magnetstav vid spolen och riktad parallell med fältet. Om vi då antaga, att hela riktkraften kan hänföras till denna stav, så skulle en minskning av huvudmagnetens fältstyrka samtidigt minska riktkraften, vadan känsligheten skulle bliva konstant. Detta gynnsamma förhållande lär väl dock ej inträffa i verkligheten, ty liksom den stora magnetens fältstyrka minskas med

---

[34]) *W. Jaeger:* Z. S. f. Instrk. *23.* 261. 1903. *23.* 353. 1903. Ann. d. Phys. *21.* 64. 1906. (Z. S. f. Instrk. *28.* 206. 1908.)

[35]) *W. P. White:* Phys. Rev. *19.* 305. 1904. *22.* 371. 1906. *23.* 382. 1906.

[36]) *H. Dieselhorst:* Ann. d. Phys. *9.* 458. 1902. Z. S. f. Instrk. *31.* 247. 276. 1911.

[37]) *E. Dibbern:* Z. S. f. Instrk. *31.* 105. 1911.

[38]) *H. Rohman:* Phys. Z. S. *14.* 203. 1913.

[39]) *M. Reinganum:* Phys. Z. S. *10.* 91. 1909.

[40]) L. c.

[41]) *P. Weiss:* C. R. *132.* 957. 1901.

Digitized by Google

tiden, så lär väl ej heller den lilla magnetstaven kunna bibehålla sin magnetism oförändrad. En nackdel är dessutom, att proportionaliteten mellan strömstyrka och utslag går förlorad genom införandet av sådana magnetstavar.

Näst känsligheten är 0-lägets konstans avgörande för en galvanometers användbarhet, varför denna fråga diskuterats flerfaldiga gånger. Till en början har man väl i allmänhet tillskrivit de ofta förekommande krypningarne av 0-läget elastisk efterverkan hos upphängningstråden. Numera är det dock fastställt, att orsakerna kunna sökas i magnetiska föroreningar i spolen. Dessa inverka f. ö. även på känsligheten, därigenom att de utöva en viss riktkraft i ena eller andra riktningen. De behöva nämligen icke alltid minska känsligheten utan kunna även öka densamma. För dessa magnetiska föroreningars fördärvlighet tycks man redan tidigt haft ögonen öppna, och det varnas inom litteraturen ofta för desamma bl. a. av Abraham[42]), Sack[42]), Des Coudres[42]), Féry[42]) m. fl. Mera klart tyckas Ayrton & Mather[43]) hava uppfattat deras inflytande och A. Stansfield[44]) uttalar tydligt det sammanhang, som finnes mellan osäkerhet i 0-läge och magnetiska föroreningar i spolen. Senare hava dessa frågor grundigt behandlats av W. P. White[45]), A. Zeleny[46]) och H. Bäckström[47]).

För att minska de menliga inverkningarna av spolens magnetism är det av vikt att få så enhetligt fält som möjligt samt hålla spolen möjligast väl centrerad. Dessutom föreslår Lippman[48]) dess överstrykning med fernissa, innehållande någon starkt diamagnetisk kropp, såsom vismut. En annan lösning har C. Féry[49]). I stället för att göra spolen i form av en ram gör han den cylindrisk, varigenom mer konstanta förhållanden erhållas.

Sin rikaste behandling i litteraturen har d'Arsonvalgalvanometern fått ur synpunkten av ballistisk användbarhet. Att vidlyftigare ingå på denna detaljfråga skulle dock föra för långt, varför här endast

[42]) L. c.
[43]) *W. E. Ayrton och T. Mather:* Phil. Mag. *42.* 442. 1896.
[44]) *A. Stansfield:* Phil. Mag. *46.* 59. 1898.
[45]) *W. P. White:* Phys. Rev. *19.* 305. 1904. *23.* 382. 1906. *30.* 782. 1910.
[46]) *A. Zeleny:* Phys. Rev. *32.* 297. 1911.
[47]) *H. Bäckström:* Z. S. f. Instrk. H. 11 u. 12. 1918.
[48]) Se *C. Féry:* C. R. *150.* 524. 1910.
[49]) *C. Féry:* C. R. *150.* 524. 1910.

Digitized by Google

komma att uppräknas en rad av de författare, som arbetat på området. Den förste var därvid Ledeboer[50]), vilken redan 1886 behandlade denna fråga. Det är dock först med 1900-talets ingång, som frågan på allvar tages upp. Efter denna tid hava likväl arbeten över ballistiska galvanometrar publicerats bl. a. av D. Robertson[51]), H. Dieselhorst[52]), P. H. Powell[53]), O. M. Stewart[54]), P. af Bjerkén[55]), H. A. Wilson[56]), B. O. Peirce[57]), F. Wenner[58]), A. Zeleny[59]) och P. E. Klopsteg[60]).

Vid ballistiska galvanometrar är det ju av vikt att svängningstiden är någorlunda stor, så att man hinner att iakttaga svängningarnes vändpunkter. Detta åstadkommes genom ökande av tröghetsmomentet. Till en början konstruerade man därför särskilda instrument med breda spolar. Fig. 16 åskådliggör ett sådant av Violet[61]), som är utfört av firman Carpentier i Paris i slutet av 1880-talet. Sedermera har ofta på särskilda armar förskjutbara vikter fått tjäna samma ändamål. Ett instrument av helt annan typ men även avsett för ballistiskt bruk är Grassots[62]) fluxmeter. Detta är en spolgalvanometer med stor dämpning och ytterst liten direktionskraft. Instrumentet ger ögonblickliga utslag, som äro proportionella med den s. k. tidsintegralen. Spolen vänder emellertid ej sedan tillbaka till begynnelseläget eller åtminstone mycket sakta, varför man har god tid att iakttaga utslagets storlek. Ett nytt sådant adderar sig till det föregående. En stor känslighet är en av instrumentets övriga fördelar.

---

[50]) *Ledeboer:* C. R. *102.* 504. 1886.

[51]) *D. Robertson:* The Electrician *46.* 901. *47.* 17. 1901.

[52]) *H. Dieselhorst:* Ann. d. Phys. *9.* 458. 1902.

[53]) *P. H. Powell:* The Electrician *51.* 1013. 1903.

[54]) *O. M. Stewart:* Phys. Rev. *16.* 158. 1903.

[55]) *P. af Bjerkén:* Arkiv f. matematik, astronomi och fysik 2. No. 13. 1904.

[56]) *H. A. Wilson:* Phil. Mag. *12.* 269. 1906.

[57]) *B. O. Peirce:* Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Sciences *42.* 161. 1906.

[58]) *F. Wenner:* Phys. Rev. *22.* 192. 1906.

[59]) *A. Zeleny:* Phys. Rev. *23.* 399. 1906.

[60]) *P. E. Klopsteg:* Phys. Rev. *3.* 147. 1914. 7. 543. 1916. 7. 633. 1916. 7. 640. 1916.

[61]) Se *E. Meylan:* Lum. électr. *32.* 268. 1889.

[62]) *E. Grassot:* Journ. de Phys. *3.* 696. 1904. L'électricien *28.* 113. 1904. etc.

Digitized by Google

Över d'Arsonvalgalvanometerns användning vid mätningar finna vi redan 1884 en uppsats av P. Barbier[63]). Sedermera har samma eller liknande ämnen varit föremål för arbeten bl. a. av J. Smith[64]), E. Meylan[65]), D. Dujon[66]), C. Féry[67]), W. Marek[68]) (visarinstrument) o. A. Zeleny[69]). Slutligen hava M. Volkman[70]), H. Abraham[71]), A. Zeleny & O. Hovda[72]), V. Peukert[73]), W. P. White[74]) och P. E. Klopsteg[75]) behandlat mer speciella galvanometerproblem.

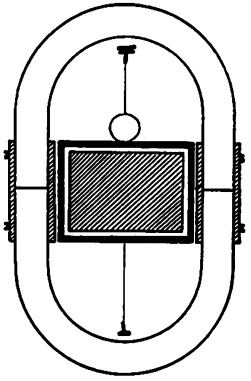


Fig. 16.

Då tiden efter 1890 sålunda huvudsakligen ägnats åt teoretiskt och praktiskt utredande arbete, så är det tydligt, att detta också inverkat på galvanometertillverkningen. Gentemot den föregående tidens brokiga samling av olika instrument te sig de nyare tämligen likformiga. Den huvudsakliga skilnaden mellan dem ligger vanligen

63) *P. Barbier:* Lum. électr. *13.* 370. 1884.
64) *J. Smith:* Phil. Mag. *35.* 210. 1893.
65) *E. Meylan:* L'électricien (2) *8.* 177. 1894.
66) *D. Dujon:* L'électricien (2) *13.* 102. 1897.
67) *C. Féry:* C. R. *128.* 1392. 1899.
68) *W. Marek:* Elektrot. Z. S. *23.* 447. 1902.
69) *A. Zeleny:* Phys. Rev. *23.* 399. 1906.
70) *M. Volkman:* L'électricien (2) *25.* 166. 1902.
71) *H. Abraham:* Journ. de Phys. (4) *5.* 576. 1906. *1.* 264. 1911.
72) *A. Zeleny & O. Hovda:* Phys. Rev. *28.* 277. 1909.
73) *W. Peukert:* Elektrot. Z. S. *32.* 362. 1911.
74) *W. P. White:* Phys. Rev. *3.* 491. 1914.
75) *E. Klopsteg:* Phys. Rev. *3.* 121. 1914. *5.* 266. 1915.

Digitized by Google

i proportioner och enstaka detaljer: själva grundtypen är dock i allmänhet densamma, nämligen den Deprez-d'Arsonvalska urtypen.

Ännu uppträda dock enstaka instrument av större originalitet. Ett sådant är Gaiffes[76]) galvanometer, där magnetfältet alstras av två cylinderformiga koaxialt uppställda magneter (se fig. 17). Omkring den gemensamma axeln rör sig den tämligen breda spolen, som fasthålles i sitt jämviktsläge medelst en spiralfjäder. En anmärkning mot detta instrument är, att spolens tröghetsmoment ej är obetydligt och den effektiva trådlängden liten.

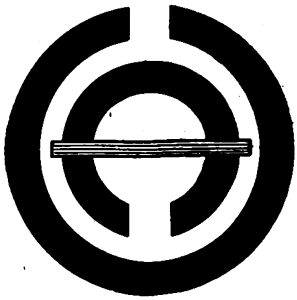


Fig. 17.

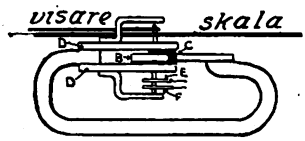


Fig. 18.

Ett par år senare hava vi en galvanometer av Arnoux[77]) (1895) med kulformig järnkärna och ringformig ram.

Intressant är även Schortans[78]) instrument från det nya århundradets första decennium. Magnetens ena pol bildar där ett slutet hus medan den andra, som motsvarar den brukliga järnkärnan, är ringformig och befinner sig där innanför. I rummet dem emellan befinner sig den vridbara dubbelspolen. Magnetfältet är lika i alla spolens ställningar, vadan utslagen bliva proportionella med strömstyrkan i spolen.

Rätt originelt och föga likt de gamla typiska d'Arsonvalgalvanometrarne är ett engelskt instrument av nyare datum. Det härrör från Record Electrical Instrument Company[79]), London. I fig. 18, som skall söka åskådliggöra detsamma, äro *B* och *D* den

---

[76]) (Gaiffe): Lum. électr. *45*. 483. 1892.
[77]) *Arnoux:* L'électricien (2) *9*. 289 och 311. 1895.
[78]) *Schortan:* Elektrot. Z. S. *28*. 971. 1907.
[79]) The Electrician *70*. 671. 1913.

Digitized by Google

egendomligt formade magnetens poler, medan *C* är spolen, vilken tydligen är vridbar omkring sin ena sida. Proportionalitet lär råda för utslag ända upp till mer än 300°.

Som nämnt voro dock de konstruerade galvanometrarne i allmänhet av mera enhetlig form; att ingå på hela raden av dem kan därför näppeligen komma ifråga. Möjligen kan dock omnämnas ett av H. Zahn[80]) konstruerat instrument med synnerligen ringa motstånd och god känslighet, samt ett instrument av Sullivan[81]), som ernått stor utbredning och inom den transatlantiska telegrafien övertagit Thomsongalvanometerns ställning. Differentialgalvanometrar hava konstruerats — förutom av Gerard — även av Th. Edelmann[82]) och J. E. Shedd[83]) m. fl.

Av stor betydelse har strävandet varit att åt tekniken och industrien skaffa enkla och lätthanterliga mätapparater. Därvid har huvudtanken icke varit att nå den största möjliga känsligheten utan den största möjliga enkelheten vid användningen. Härvid komma naturligtvis visar-instrument närmast i fråga, trots att visaren medför ökat tröghetsmoment och därmed även mindre känslighet. Då tröghetsmomentet i alla händelser sålunda måste bliva jämförelsevis stort, så har i allmänhet ej heller hänsyn tagits till spolformen. Några smala spolar förekomma sålunda knappast. Däremot ha nästan undantagslöst radiellt och likformigt fält anordnats för att proportionalitet skall råda mellan strömstyrka och utslag. Den Deprez'ska galvanometerformen av 1884 är alltså även här grundläggande, och då detta instrument även hade visaravläsning, så torde det vara den första galvanometern med rörlig spole, där dessa praktiska synpunkter gjort sig gällande.

Redan förut har i denna uppsats behandlats ett instrument, som 1885 omnämnes av Rechniewsky. Det var utgånget från firman P. Barbier i Paris och utfördes i tvenne former, dels som ampèremätare dels som voltmätare.

År 1887 utställde firman Carpentier[84]) inför Société de Physique några instrument, där de praktiska synpunkterna voro

[80]) *H. Zahn:* Zeitschr. f. Instrk. *31.* 145. 1911.
[81]) Se *J. A. Montpellier:* L'électricien *29.* 209. 1905.
[82]) *Th. Edelmann:* Elektrot. Z. S. *12.* 202. 1891.
[83]) *J. C. Shedd:* Phys. Rev. *19.* 301. 1904.
[84]) Se *Meylan:* Lum. électr. *25.* 170. 1887.

Digitized by Google

allena härskande. I det första av dessa hade tråduppbängningen slopats, och spolen vilade istället medelst ett par axeltappar i tvänne lager. Riktkraften åstadkoms av en spiralfjäder. Införandet av denna har i hög grad befordrat utvecklingen på detta område.

Det andra instrumentet bestod av en galvanometer, som fast monterats i en trälåda. I dören till denna var en kikare inbyggd, och i lådans ena vägg var urtaget ett fönster med glasskala. Vid spolen var en spegel fastsatt i 45° vinkel mot kikarriktningen. Vid detta instrument hade alltså spegelavläsning bibehållits. Detta gäller även det tredje av Firman Carpentier i detta sammanhang utställda instrumentet.

Mest av alla hava dock måhända de Westonska instrumenten bidragit till instrumenttypens framgång. Redan omedelbart efter deras framträdande erkändes deras överlägsenhet, och än i dag kallar man ofta de tekniska mätinstrumenten av d'Arsonvaltyp för Westonapparater, oaktat sedan dess en mängd olika firmor släppt talrika instrument av denna art i marknaden*). Härpå skall likväl ej närmare ingås, då de äro varandra i stort sett alltför lika och dessutom äro alltför välkända. Det karakteristiska för dem är, att de hava visare och skala samt i allmänhet hava spolen lagrad medelst tvenne tappar, varvid riktkraften erhålles från fjädrar, som måste tillverkas av omagnetiskt material såsom fosforbrons. Vid instrument av större känslighet användes likväl upphängning i tunna metallband. En kombination av tapplagring och bandupphängning infördes av M. Mohs[85]) för att spara lagren. Instrumenten äro ämnade för mätningar av antingen strömstyrkor eller spänningar samt direkt graderade. För att göra mätområdet vidare följa dem dessutom särskilda shuntmotstånd eller tillsatsmotstånd. I vissa fall äro dessa förlagda till instrumentet självt, som då kan kombineras på olika sätt, ja man känner t. o. m. så kallade universalapparater, som efter behag kunna användas för mätning av strömstyrkor, spänningar eller motstånd (inlagd »brygg«-anordning).

* *
*

*) Flera av dessa hava förut i annat sammanhang blivit omnämnda.

[85]) *M. Mohs:* Phys. Z. S. *11.* 55. 1910.

Digitized by Google

Som sammanfattning av d'Arsonvalgalvanometerns historia må följande sägas:

a) Tiden före 1880: Sporadiskt uppträda olika instrument med rörlig spole. Det viktigaste av dessa var Thomsons »siphonrecorder« av 1867.

b) 1880-talet: Detta årtionde utmärker sig för synnerligen livlig verksamhet på detta område. Utgångspunkten utgör den Deprez-d'Arsonvalska galvanometern. Genom talrika variationer av denna sökte man nå en förbättrad form, varvid det viktigaste upslaget utgöres av Deprez' anordning med radiellt fält. Från denna tid hava vi även de första försöken att åstadkomma en för industrien lämpad enkel och lätthanterlig mätapparat.

c) Tiden efter 1890: Verksamheten blir alltmer inriktad på teoretiskt och systematiskt utredande arbete. Höjdpunkten betecknas av namnen Dieselhorst, Jaeger, White m. fl. under första decenniet av 1900-talet. Efter 1910 är Klopsteg den produktivaste författaren på området. Ännu framträda enstaka nykonstruktioner, i allmänhet är dock den Deprez-d'Arsonvalska urtypen grundläggande för denna tids arbeten. De industriella instrumenten erhålla en storartad utbredning.

Stockholms Högskolas Fys. Inst., januari 1918.

Poulsen-Buens Virkemaade.

Om Poulsen-Buens Teori. I.

Af

P. O. Pedersen.

Indledning.

Poulsen-Buen har i de forløbne Aar været Genstand for megen Diskussion og for mange indgaaende Undersøgelser[1]). Resultatet er dog langt fra tilfredsstillende og det hovedsagelig af 3 Grunde: 1) En

[1]) Med Hensyn til Bibliografi henvises til P. O. Pedersen: Poulsen-Buen og dens Teori. Vid. Selskabs Skrifter, 8. Række II. 4. København 1917 (citeres som P. I.).

Digitized by Google

oscillografisk Analyse af de højfrekvente Svingninger er meget vanskelig. 2) De fleste Laboratorieundersøgelser er foretagne med ganske smaa Apparater og under Benyttelse af en ganske ringe Effekt, under hvilke Forhold Fænomenerne er langt mere komplicerede og instabile end ved de egentlige, store Poulsen-Buer. 3) Den af H. Th. Simon og hans Elever — særlig Barkhausen — udviklede Teori, der har været Udgangspunktet for de fleste herhenhørende Arbejder, hæfter i alt for høj Grad Opmærksomheden ved Tændspændingen og slet ikke, eller i hvert Fald kun i ringe Grad, ved Slukkespændingen. Som det vil fremgaa af det følgende, spiller denne sidste imidlertid en meget stor, ja i flere Henseender afgørende Rolle.

Vi giver nedenfor under A. nogle Iagttagelser over Forholdet mellem Højfrekvensstrøm og Fødestrøm, et Forhold, der har megen Betydning baade for Buens praktiske Anvendelse og for dens Teori. I Afsnit B. drages nogle Konsekvenser af den Simon-Barkhausen'ske Teori, og det vises, at disse Konsekvenser for Poulsen-Buens Vedkommende ikke stemmer med Erfaringen. I det følgende Afsnit C. undersøges Muligheden af at forklare Afvigelserne ved Hjælp af Slukkespændingen og under D. paavises eksperimentelt Rigtigheden af denne Forklaring.

Det forudsættes i det følgende, at Poulsen-Buens almindelige Indretning er kendt. Nærmere Oplysninger desangaaende findes i de fleste nyere Lærebøger i Traadløs Telegrafi[1]) og i et Par Artikler i nærværende Tidsskrift[2]).

Med Hensyn til Buegeneratorens Strømdiagram og den benyttede Forsøgsopstilling henvises til Fig. 1, hvor man tillige finder Oplysning om en Del af de benyttede Betegnelser. Fig. 2 viser en Skitse af Elektroderne i den Generator, der er anvendt ved de fleste af de i det følgende omtalte Forsøg.

---

[1]) H. Rein: Lerbuch der drahtlosen Telegraphie. Berlin 1917. p. 165—186. T. Thörnblad: Trådlös Telegrafi. Stockholm 1911. p. 493—593. J. Zenneck: Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie. 4. Aufl. 1916. p. 260—293.

[2]) V. Poulsen: Fysisk Tidsskrift. 5. Aargang. p. 37—52. 1906. A. W. Marke: Om traadløs Telegrafi. Fysisk Tidsskrift. 12. Aarg. 1914.

Digitized by Google

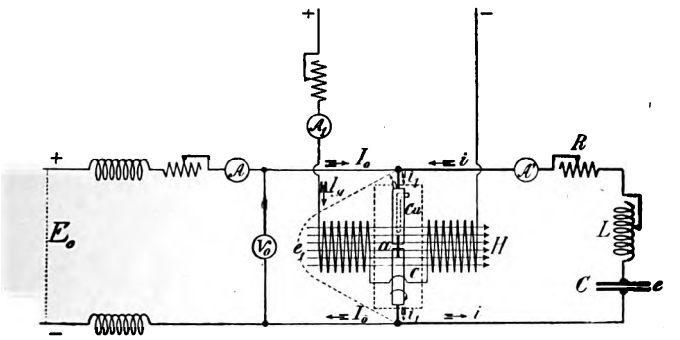


Fig. 1. Diagram for Poulsen-Bue. Elektricitetskilden E_0 føder Buen *a*, der brænder mellem Katoden *C* af Kul og den vandkølede Anode *Cu* af Kobber. Buen brænder i Brint, Belysningsgas eller en anden brintholdig Atmosfære og befinder sig i et magnetisk Felt *(H)*. *C*, *L* og *R* er henholdsvis Kapacitet, Selvinduktion og Modstand i Buekredsen (tegnet med tykke Linier). I_0 Fødestrøm; V_0 Fødespænding maalt over Buen; *I* Højfrekvensstrømmens effektive Værdi; i_1 og *i* Øjebliksværdier af Strøm igennem Buen og i Svingningskredsen; $(i_1 = I_0 + i)$. e_1 og *e* Øjebliksværdier af Buespænding og Kondensatorspænding. Buekredsens Karakteristik $\varrho = \sqrt{\frac{L}{C}}$, og Perioden $\tau = 2\pi\sqrt{CL}$.

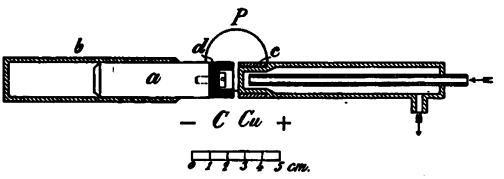


Fig. 2. Elektroder i den benyttede Forsøgsgenerator. *d* Katode af Kul, *c* vandkølet Anode af Kobber. *P* Magnetpol.

A. Forholdet mellem Højfrekvensstrøm og Fødestrøm.

1. Den eksperimentelle Værdi af Forholdet. K. Vollmer[1]) er formentlig den eneste, der hidtil har meddelt noget nærmere herom. Han fandt, at det nævnte Forhold indenfor meget vide Grænser var $g = \frac{I}{I_0} = 0{,}77$. Hans Undersøgelser omfattede Bølgelængder mellem 300 og 1915 m og Fødestrømme fra 1 til 7 Ampère, medens Buekredsenes Karakteristik $\varrho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ laa mellem 30 og 1300 Ohm.

[1]) K. Vollmer: Jahrb. d. drahtl. Tel. Bd. 3, p. 117—174, 213—249. 1910

Digitized by Google

W. Duddell[1]) fandt $g = 0{,}90$ for $I_0 = 5$ Ampère, J. A. Fleming[2]) $g =$ ca. 0,63 for $I_0 = 8$ Ampère. L. W. Austin[3]) angiver $g = 1$ for $I_0 = 4$ Ampère, for Bølgelængden $\lambda = 3600$ m og for $\varrho = 4{,}5$ Ohm, medens Fassbender og Hupka[4]) fandt $g = 0{,}83$ for $I_0 = 1{,}1$ Ampère, $\lambda = 3180$ m og $\varrho = 567$ Ohm.

For den normale Poulsen-Bue — hvorved jeg forstaar en Poulsen-Bue, der drives med mindst 10 à 15 Ampère, arbejder med Bølgelængder paa 1000 m og derover, samt med Værdier af ϱ, der er over 50 Ohm[5]) — er Forholdet g med ret stor Nøjagtighed bestemt ved

$$g = \sqrt{\tfrac{1}{2}}. \tag{1}$$

Under de Forhold, som forefindes paa sædvanlige større Buestationer, eller under tilsvarende Laboratorieforhold, gælder Ligning (1) med en saa stor Nøjagtighed, at man med de bedste tekniske Ampèremetre for højfrekvent Strøm ikke er i Stand til med Sikkerhed at konstatere nogen Afvigelse. Efterhaanden som man nærmer sig de nævnte Grænser og eventuelt passerer disse, bliver Afvigelserne større, idet g antager højere Værdier.

2. Beregning af Fødestrøm eller Fødespænding. Kaldes den effektive Modstand i Buekredsen for R, Fødespændingen V_0 og Buens Nyttegrad η, har man følgelig

$$\eta I_0 V_0 = I^2 R = \tfrac{1}{2} I_0^2 R,$$

eller

$$2\eta V_0 = I_0 R. \tag{2}$$

Kender man Værdien af η, giver Formlerne (1) og (2) Midlerne til en ingeniørmæssig Forudberegning af Poulsen-Buen, idet der som

---

[1]) W. Duddell: Journ. Inst. El. Eng. Vol. 30, p. 232—261. 1901. »Electrician«. Vol. 46, p. 269—273, 310—313. 1900.

[2]) J. A. Fleming: Phil. Mag. (6). Vol. 14, p. 264—265. 1907.

[3]) L. W. Austin: Bull. Bur. Stand. Vol. 3, p. 325—340. 1907.

[4]) H. Fassbender u. E. Hupka: Phys. Zeitschr. Bd. 14, p. 222—226. 1913.

[5]) For almindelige Radiostationer har ϱ som Regel en Værdi af nogle Hundrede Ohm.

Digitized by Google

Regel til et Radioanlæg med Poulsen-Bue stilles den Fordring, at der for en vis Bølgelængde opnaas en fastsat Strøm i en given Antenne. Værdien af η er ikke konstant; den afhænger af Bølgelængden — aftager med denne — og, omend i mindre Grad, af R og ϱ samt af forskellige andre Forhold. I Praksis vil man som oftest med tilstrækkelig Tilnærmelse kende Værdien af η under de opgivne Forhold[1]).

Formlerne (1) og (2) giver da en overmaade simpel Bestemmelse af den til en vis Højfrekvensstrøm I svarende Fødestrøm I_0 og Fødespænding V_0.

3. Den fordelagtigste Indstilling af Bue-Generatoren. En anden vigtig Konsekvens af Formel (1) er følgende: Da Forholdet mellem Højfrekvensstrøm og Fødestrøm er konstant, saa er Buens Nyttegrad Maksimum under givne Forhold, naar Fødespændingen er Minimum. Drives Buen fra en Elektricitetskilde med konstant Spænding, gennem en konstant Forlagsmodstand — i Praksis meget lille, kun hidrørende fra Dæmperullernes Modstand — er følgelig Buens Nyttegrad Maksimum, naar Højfrekvensstrømmen (eller Fødestrømmen) er Maksimum. For under givne Forhold at frembringe den maksimale Højfrekvensstrøm kræves der erfaringsmæssigt en bestemt Buelængde (Elektrodeafstand) og et bestemt Magnetfelt, idet de gunstigste Værdier for begge disse Størrelser i ret høj Grad afhænger af Kredsens Konstanter. Buegeneratorer indrettes derfor med variabel Elektrodeafstand og variabelt Magnetfelt. Buen bliver først aktiv, naar den trækkes ud til en vis, kritisk Længde, medens den for mindre Længder brænder som Jævnstrømsbue. Dog kan Elektrodeafstanden formindskes lidt, naar Buen er bleven aktiv, uden at Buens Aktivitet ophører. Buen giver den maksimale Højfrekvensstrøm, naar Elektrodeafstanden er den mindst mulige, altsaa den kritiske eller lidt derunder; forøges Buelængden, aftager Højfrekvensstrømmen, og, naar Elektrodeafstanden har naaet en vis Værdi, slukkes Buen helt. Den kritiske Elektrodeafstand er saaledes i og for sig den bedste; dog er det af Stabilitetsgrunde som Regel nødvendigt at gøre Buelængden lidt større end den kritiske. Med Magnetfeltet forholder det sig paa lignende Maade: Buen arbejder med størst

[1]) Ligger som Regel mellem 30 og 50 pCt.

Digitized by Google

Nyttegrad med det svageste Magnetfelt, for hvilket Buen brænder roligt; men dette Spørgsmaal kommer vi udførlig tilbage til senere.

4. Buens Overgang fra den inaktive til den aktive Tilstand. Det foregaaende viser, at Bue-Generatoren enten arbejder (er aktiv) med en Højfrekvensstrøm, der er lig med eller større end $\sqrt{\frac{1}{2}} \cdot I_0$, eller ogsaa slet ikke arbejder (er inaktiv).

Højfrekvensstrømmen begynder ikke med at være en ganske ringe Brøkdel af Fødestrømmen for, efterhaanden som Forholdene bliver bedre, at tiltage i Styrke; det er enten — eller. Man forstaar derfor ogsaa, at selv forholdsvis smaa Forandringer i Buens Forhold kan være afgørende for Buens Evne til at optræde som Højfrekvensgenerator, idet de nævnte Forandringer lige netop kan bringe Buen fra den inaktive over i den aktive Tilstand. Dette forklarer, at det kan være af afgørende Betydning, om Buen brænder i Brint eller i atmosfærisk Luft, til Trods for at Forskellen mellem de to Luftarter med Hensyn til deres fysiske Forhold i de fleste andre Henseender kun er kvantitativ.

B. Nogle Konsekvenser af den Simon-Barkhausen'ske Teori. (S.-B.-Teorien.)

1. S.-B.-Teorien. Den nuværende Opfattelse af Bue-Generatorens Virkemaade grunder sig i Hovedsagen paa S.-B.-Teorien[1]) og har faaet sit klareste og simpleste Udtryk gennem Barkhausens simple Karakteristik (Fig. 3), der lægges til Grund for de herhen hørende Betragtninger[2]). Denne Betragtningsmaade har den Fordel, at man uden Vanskelighed kan regne sig til Forløbet af Buens Strøm- og Spændingskurver, naar man forudsætter bestemte Værdier af Tænd-

---

[1]) H. Th. Simon: Phys. Zeitschr. Bd. 4, p. 364—372, 737—742. 1903; Bd. 6, p. 297—319, 1905; Bd. 7, p. 433—445, 1906; Bd. 8, p. 471—481, 1907; Bd. 9, p. 865—874, 1908. Jahrb. d. drahtl. Tel. Bd. 1, p. 16—68. 1908. H. Barkhausen: Das Problem der Schwingungserzeugung. (113 pp.) Leipzig 1907. Jahrb. d. drahtl. Tel. Bd. 1, p. 243—262. 1908. K. W. Wagner: Der Lichtbogen als Wechselstromerzeuger. (119 pp.) Leipzig 1910.

[2]) Angaaende Buekarakteristikker henvises til »Den elektriske Bues Elektronteori«. Fysisk Tidsskrift. Bd. 15, p. 176—192. 1917. (Særlig Fig. 5 og 6).

Digitized by Google

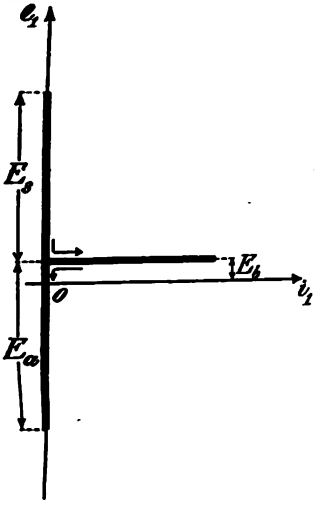


Fig. 3. Barkhausens simple ideale Karakteristik. E_b Buens Brændespænding; $E_s + E_b$ = Tændspænding; E_a Spændingsfald ved Buens Slukning.

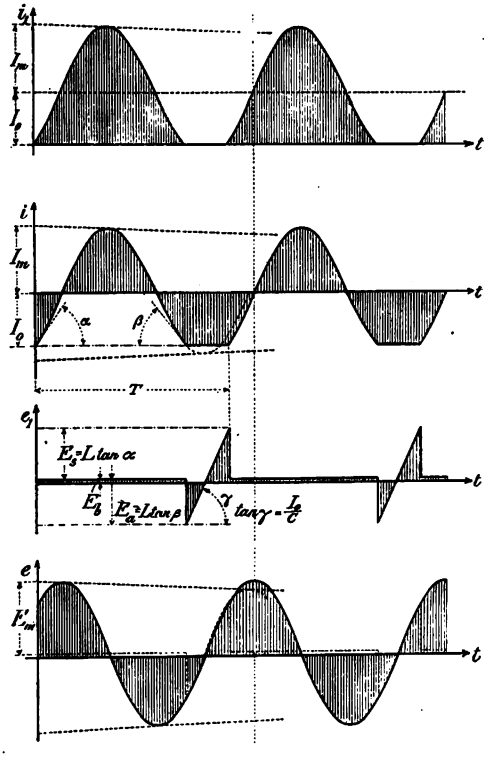


Fig. 4. Teoretisk Forløb af Buestrøm og Buespænding samt Strøm i Svingningskreds og Kondensatorspænding paa Grundlag af Barkhausens simple Karakteristik. I et Punkt a, hvor Strømkurven har et Knæk, er der et pludseligt Fald E_a i Buespændingen bestemt ved $E_a = L \left[\left(\frac{di_1}{dt}\right)\right.$ til højre for $a - \left(\frac{di_1}{dt}\right)$ til venstre for $a\Big]$.

spændingen E_s og Brændespændingen E_b. Et Eksempel herpaa er vist i Fig. 4. Man er derfor ogsaa i Stand til rent matematisk at drage en Række Konsekvenser af S.-B.-Teorien. Af disse interesserer os i Øjeblikket dog kun det foran omtalte Forhold g mellem Højfrekvensstrøm og Fødestrøm, der i Fig. 5 er fremstillet som Funktion af en Paramenter k, hvis Værdi bestemmes ved Ligningen[1]):

[1]) Med Hensyn til Detaillerne i Regningerne henvises til P. I.

Digitized by Google

$$k = \left(\frac{E_s}{I_0} - \frac{R}{2}\right) \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} = \left(\frac{E_s}{I_0} - \frac{R}{2}\right) \cdot \frac{1}{\varrho}, \qquad (1)$$

hvor det sidste Led i Parentesen dog er saa lille, at man med tilstrækkelig Tilnærmelse kan skrive

$$k = \frac{E_s}{I_0} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{E_s}{\varrho I_0} = \frac{tg\alpha}{I_0} \cdot \sqrt{LC} = \frac{tg\alpha}{I_0} \cdot \frac{\lambda}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^8}, \qquad (2)$$

hvor α er den Vinkel, Strømkurven ved Buens Tænding danner med Aksen (se Fig. 4).

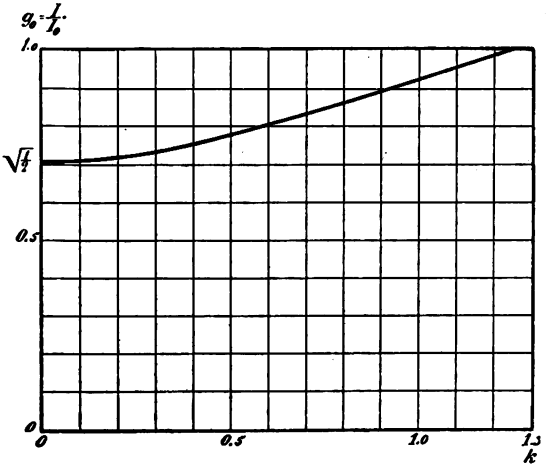


Fig. 5. Forholdet g mellem Højfrekvensstrøm og Fødestrøm som Funktion af Parameteren $k = \frac{E_s}{\varrho I_0}$ og beregnet paa Grundlag af Barkhausens simple Karakteristik.

For $k = 0$, er g netop lig med $\sqrt{\frac{1}{2}}$, og for smaa Værdier af k er g kun lidt større end $\sqrt{\frac{1}{2}}$, men med stigende Værdier af k vokser g efterhaanden ret hurtigt, saaledes er $g = 1$ for en Værdi af k omkring 1,2.

2. Teoretisk mulige Værdier af Parameteren k. Efter saaledes at have bestemt Forholdet g's Afhængighed af k, skal vi gaa over til at undersøge, hvilke Værdier k kan ventes at antage. Selve S.-B.-Teorien sætter her i hvert enkelt Tilfælde en bestemt

Digitized by Google

lavere Grænse for Værdien af k. Dette ses saaledes: En nødvendig Forudsætning for Anvendelsen af denne Teori er, at Buestrømmen ved Slutningen af hver Periode aftager til Nul. I modsat Fald vil en Strømslutning gennem Buen, under Forudsætning af at Barkhausens Karakteristik finder Anvendelse, kun giver Anledning til en aftaldende, harmonisk Svingning, efter hvis Hendøen Buen passeres af den konstante Fødestrøm I_0. Den nævnte Betingelse for Anvendelsen af S.-B.-Teorien er nu, at det laveste Punkt af Strømkurven falder under eller i det højeste i Abscisseaksen. Det kan let vises[1]), at dette kun vil være Tilfældet, naar

$$k > \sqrt{6\frac{R}{\varrho}}. \tag{3}$$

en Relation, der ganske vist ikke er helt eksakt, men dog giver en for det foreliggende Øjemed tilstrækkelig god Tilnærmelse.

Hertil svarer en Tændspænding, der med Tilnærmelse er bestemt ved

$$E_s = \varrho I_0 k > I_0\sqrt{6\varrho R}. \tag{4}$$

3. Sammenligning mellem de teoretisk mulige og de maalte Værdier af k og E_s. Vi fandt ovenfor, at Parametren k ifølge (3) skal være større end $\sqrt{6\frac{R}{\varrho}}$. Sættes her f. Eks. $R = 5$ Ohm og $\varrho = 60$ Ohm, faas $k > 0{,}71$, hvortil ifølge Fig. 5 svarer $g > 0{,}83$, medens g i Virkeligheden under de angivne Forhold meget nær har Værdien $\sqrt{\frac{1}{2}}$. Da saaledes selve Anvendeligheden af S.-B.-Teorien sætter en Minimumsgrænse for g, der er langt højere end den iagttagne Værdi, er denne Teori ikke i Overensstemmelse med Forsøgene. Uoverensstemmelsen kan ikke forklares ved Iagttagelsesfejl, idet der til den eksperimentalt fundne Værdi af g ifølge S.-B.-Teorien svarer ganske smaa Værdier af k, i hvert Fald ikke over 0,15; for større Værdier af k fjærner g sig efter Teorien ret stærkt fra Værdien $\sqrt{\frac{1}{2}}$.

S.-B.-Teorien kræver tillige, at Tændspændingen mindst antager den ved Formel (4) angivne Værdi; men maales den maksimale

[1]) Se P. I.

Digitized by Google

Spænding ved en parallelt med Buen anbragt Gnistmikrometer, viser det sig, at man finder langt lavere Værdier. Eks.: For $I_0 = 20$ Amp., $R = 3$ Ohm og $\varrho = 400$ Ohm, hvortil ifølge (4) svarer $E_s = 1700$ Volt, begyndte Gnister at slaa regelmæssig over ved en Gnistlængde paa 0,01 mm. (Gnistbanen var udsat for Bestraaling af ultraviolet Lys fra en Bue). Den maksimale Spænding ligger derfor i Nærheden af den kritiske, 380 Volt. Den normale Tændspænding af Buen ligger saaledes langt lavere end de nævnte 1700 Volt; dette bekræftes ogsaa ved de senere omtalte Optagelser med Katodelysrør.

Dette gælder for den normale Poulsen-Bue med normal Elektrodeafstand, der ifølge A. 4 meget nær er lig med den minimale. Forøges Elektrodeafstanden saa meget som muligt, stiger Gnistlængden under de nævnte Forhold indtil 0,14 mm, svarende til en Tændspænding paa omkring 1100 Volt, altsaa betydelig nærmere ved den af S.-B.-Teorien krævede. Vi skal senere se, at Forholdene for unormal stor Elektrodeafstand i det hele taget er i ret god Overensstemmelse med S.-B.-Teorien.

C. Forklaring af Afvigelserne fra S.-B.-Teorien. Slukkespændingens Indflydelse.

1. Diskussion af Grundene til, at S.-B.-Teorien ikke finder Anvendelse paa Poulsen-Buen. Det foregaaende viser, at S.-B.-Teorien ikke giver nogen god Fremstilling af Forholdene i den normale Poulsen-Bue. Paa den anden Side kan det ikke ret vel betvivles, at to af den i Fig. 3 viste Karakteristiks mest udprægede Ejendommeligheder, nemlig den forholdsvis høje Tændspænding og den ret lave Brændespænding, saa nogenlunde svarer til de virkelige Forhold. Derimod er der en tredie Ejendommelighed ved Buefænomenet, som slet ikke kommer til sin Ret i Barkhausens Karakteristik, nemlig »Slukkespændingen«, altsaa den højere Spænding paa Buen, der forefindes, naar Strømstyrken er ringe, altsaa kort Tid før Buen slukkes. I den nævnte Karakteristik indgaar ikke nogen særlig Slukkespænding, men den lave Brændespænding forudsættes at vedvare, lige indtil Buen slukkes. Det er velkendt, at dette ikke er Tilfældet: Slukkespændingen er hyppig betydelig højere end Brændespændingen. Dette fremgaar saaledes meget klart af A. Blon-

Digitized by Google

dels Undersøgelser[1]). (Se f. Eks. ogsaa den foran omtalte Artikkel om Buens Elektronteori, »Fysisk Tidsskrift« XV, p. 183, 1917, Fig. 5, hvor Punkterne b og c viser Spændingsforhøjelsen lige før Buen slukkes). Naar Barkhausen alligevel har undladt at tage Hensyn til Slukkespændingen ved Opstillingen af den simple, ideale Karakteristik, skyldes dette utvivlsomt Ønsket om at gøre denne saa simpel som muligt. Paa den anden Side har en saadan idealiseret Karakteristik kun Betydning, forsaavidt de Konsekvenser, man drager af den, i Hovedsagen er i Overensstemmelse med de virkelige Forhold. Vi har for Poulsen-Buens Vedkommende vist, at dette ikke er Tilfældet, og det vil fremgaa af det efterfølgende, at Grunden hertil netop er, at Slukkespændingen for Poulsen-Buens Vedkommende spiller en afgørende Rolle. Vi vil ligeledes faa Lejlighed til at se, at Barkhausens Karakteristik under visse uheldige Omstændigheder gengiver de virkelige Forhold med god Tilnærmelse, og disse Omstændigheder forefindes hyppig ved de i Laboratoriet anstillede Forsøg, men derimod ikke hos den i Praksis anvendte normale Poulsen-Bue.

2. Forholdene ved Buens Slukning. Vi skal nu gaa over til en nærmere Omtale af Forholdene ved Buens Slukning. Da g er meget nær lig med $\sqrt{\frac{1}{2}}$, saa maa Parametren k være meget lille. Følgelig maa Vinklen α, hvorunder Strømmen vokser op straks efter Buens Tænding, ogsaa være meget lille (se Fig. 4). Men saa vil, som vi har set, Buestrømmen ikke af sig selv falde til Nul ved Periodens Slutning. Buen vil med andre Ord ikke uden videre slukkes een Gang for hver Periode. Skal Slukningen ske, maa Buen udvikle en vis »Slukkespænding«. Nogen Forhøjelse af Spændingen over Buen indtræder som omtalt i det foregaaende af sig selv, naar Buestrømmen falder ned til meget smaa Værdier. Men skal Buen slukkes, maa denne Spændingsforhøjelse allerede begynde at gøre sig gældende i et Punkt c (se Fig. 6), der ligger en Del til venstre for det laveste Punkt d af Strømkurven. Denne Forøgelse af Buespændingen vil bevirke et hurtigere Fald af Strømkurven og efterhaanden som Strømmen antager mindre Værdier, vil Buespændingen

[1]) A. Blondel: L'Éclairage Électrique. T. 44, p. 41—58, 81—104. 1905.

Digitized by Google

stige, og denne Stigning vil yderligere modvirke Strømmens Gennemgang. Resultatet heraf bliver i Almindelighed, at Buestrømmen falder til Nul, saaledes som antydet ved Linien *cf*. Den tilsvarende Spændingskurve er i Fig. 6 skematisk angivet ved Kurven *c' c''*. I

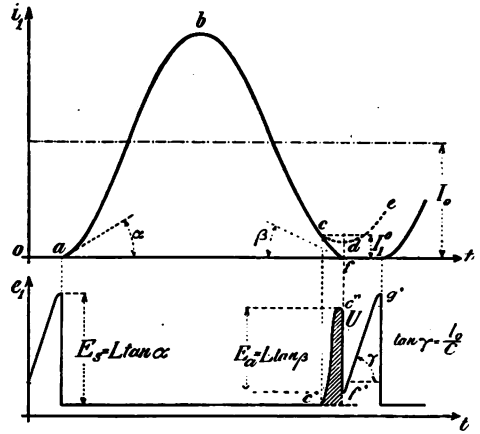


Fig. 6. Skematisk Fremstilling af Buestrøm og Buespænding. (Svingninger af 2. Art, men med saa kortvarig Strømafbrydning, at de nærmer sig til 1. Art; se Fig. 7).

Punktet *f* slukkes Buen, og danner Strømkurven i dette Punkt en Vinkel β med Aksen, vil der ske et Fald E_a i Buespændingen i det Øjeblik, Buen slukker, bestemt ved

$$E_a = L \cdot tg\beta. \tag{1}$$

Saa snart Buen er slukket, vil Spændingen over Buen vokse lineært paa samme Maade som Spændingen paa Kondensatoren *C*, da Buekredsen nu passeres af Jævnstrømmen I_0. Denne Spændingsstigning fortsættes fra Punktet *f'* til Punktet *g'*, hvor Buens Tændspænding er naaet, og hvor en ny Tænding finder Sted.

Om selve Forløbet af Strøm- og Spændingskurver under Slukningen vides meget lidt. Derimod kan man uden Vanskelighed vise[1]), at hvis Buen skal slukkes, maa Integralet *U* af Slukkespændingen tilfredsstille Relationen

$$U \geqq \frac{\lambda}{6.10^{10}} \cdot I_0 R. \tag{2}$$

[1]) P. I.

Digitized by Google

hvor λ er Bølgelængden i cm, og hvor $U = \int (e_1 - E_b)dt$, idet Integralet udstrækkes over hele den Tid, Slukningen varer.

En Undersøgelse af de Spændingsoscillogrammer, hvis Optagelse omtales i D. 1., viser, at den Brøkdel af Perioden, indenfor hvilken Slukkespændingen optræder med en kendelig Værdi, omtrent er den samme i alle Tilfælde, nemlig omkring 0,1.

Den gennemsnitlige Spændingsforhøjelse E' under Slukningen skal derfor opfylde Betingelsen

$$E' = \frac{U}{\frac{1}{10}\lambda/3.10^{10}} \geqq 5\, I_0 R. \qquad (3)$$

Det er ved disse Betragtninger forudsat, at Parametren k er meget lille, hvad der vil sige det samme som, at Vinklen α er lille. Men denne Forudsætning maa jo nødvendigvis være opfyldt, da Forholdet g erfaringsmæssigt altid meget nær er lig med $\sqrt{\frac{1}{2}}$.

Vi har ovenfor skildret Forholdene, som de ligger ved den normale Poulsen-Bue, hvor Bue-Strømmen brydes for hver Periode. En saadan Afbrydning er dog ikke ubetinget nødvendig. Naar blot Strømmen i hver Periode falder ned til en saa lav Værdi, at Buespændingen stiger tilstrækkeligt op over den normale Brændespænding, saa kan Buen frembringe Svingninger, selv om den, som vi skal se i en følgende Afhandling, ikke arbejder saa regelmæssigt som under normale Forhold. For Opklaringen af Bue-Generatorens Virkemaade spiller Kendskabet til den omtalte Svingningstilstand, hvor Buestrømmen ikke helt afbrydes, en betydelig Rolle. Vi skal derfor ganske kort paa Grundlag af Fig. 7 omtale disse Svingningers Opstaaen og Opretholdelse.

Den øverste fuldt optrukne Kurve fremstiller Buestrømmen, den nederste Buespændingen. Paa Stykket *abc*, hvor Buespændingen har den normale Brændværdi E_b, forløber Strømmen som en dæmpet Sinuskurve

$$i_{10} = I_m^s \cdot e^{-\varkappa t} \cdot \cos(2\pi n t - \varphi), \qquad (4)$$

hvor $\varkappa = R/2L$, og $2\pi n \sqrt{LC} = 1$.

I Punktet c begynder Buespændingen at stige. Spændingens Forløb tænkes repræsenteret ved Kurven *fgh*. Vi finder da let det

Digitized by Google

tilsvarende Forløb cd_0a' af Strømkurven. Vi har nemlig for Buespændingen e_1 følgende Ligning:

$$-e_1 = L\frac{di_1}{dt} + Ri_1 + \frac{1}{C}\int i_1 dt. \tag{5}$$

Sætter heri $i_1 = i_{10} - i_1'$, saa er i_1' Forskellen mellem den ved (4) givne Strøm og den virkelige Buestrøm — altsaa i Fig. 7 For-

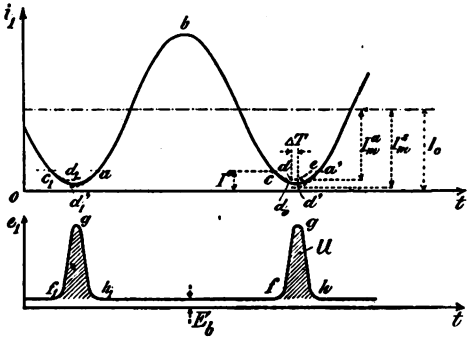


Fig. 7. Skematisk Fremstilling af Buestrøm og Buespænding i de Tilfælde, hvor Buen ikke slukkes, men dog virker som Højfrekvensgenerator. (Svingninger af 1. Art.)

skellen mellem Ordinaterne til Kurven cde og cd_0a' — og Ligning (5) reduceres til

$$e_1' = e_1 - E_b = L\frac{di_1'}{dt} + Ri_1' + \frac{1}{C}\int i_1' dt, \tag{6}$$

her er imidlertid i_1' saa lille, at vi uden større Fejl kan bortkaste de to sidste Led i (6) og altsaa skrive

$$e_1' = e_1 - E_b = L\frac{di_1'}{dt}, \tag{7}$$

eller

$$i_1' = \frac{1}{L}\int_f^t (e_1 - E_b)dt. \tag{8}$$

Paa Grundlag heraf kan man let ud fra Spændingskurven fgh bestemme Strømkurven cd_0a'. I Punktet a' bliver Buespændingen atter konstant, og Strømmen forløber siden efter den ved (4) givne

Digitized by Google

Regel. Man ser heraf, at Resultatet af Spændingstoppen *fgh* er, at Buestrømmens Amplitude, der i Løbet af Perioden var sunken til den ved I_m^a angivne Værdi, atter bringes op paa Værdien I_m^s. Der er paa denne Maade en Mulighed for at opretholde den højfrekvente Strøms Amplitude, men det kræves, at Spændingstoppen *fgh* er netop tilstrækkelig stor. Er den for lille, vil Strømamplituden for hver Periode blive mindre, og Buen sluttelig blive inaktiv. Er Spændingstoppen for stor, vil Amplituden vokse og Svingningerne eventuelt gaa over til at blive af 2. Art (med Strømafbrydning).

Vi kan uden Vanskelighed bestemme en Tilnærmelsesformel for den lige netop nødvendige Størrelse af Spændingstoppen, det vil sige af Integralet

$$U = \int_f^h (e_1 - E_b) \cdot dt. \tag{9}$$

Ifølge (8) er

$$U = L \cdot i'_{1h}, \tag{10}$$

hvor i'_{1h} er den største Værdi af i_1', nemlig den, der svarer til Punktet h af Spændingskurven.

Endvidere er med tilstrækkelig Tilnærmelse

$$i'_{1h} = I_m^s - I_m^a = \delta I_m^s, \tag{11}$$

hvor $\delta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}$ er Kredsens logaritmiske Dekrement.

Af (10) og (11) faas:

$$U = L\delta I_m^s = \pi R \sqrt{LC} \cdot I_m^s = \frac{\lambda}{6.10^{10}} \cdot R I_m^s. \tag{12}$$

Altsaa en Værdi, der ganske svarer til den ved Formel C (2) bestemte.

Dette Resultat findes ogsaa let paa følgende Maade. I Løbet af en Periode tilføres der Svingningskredsen og Buen fra Fødestrømmen en Energimængde A, hvor

$$A = \int_t^{t+\tau} I_0 e_1 dt = I_0 E_b \tau + \int_f^h I_0 (e_1 - E_b) dt = I_0 E_b \tau + I_0 U. \tag{13}$$

Det første Led, $I_0 E_b \tau$, er meget nær lig med den i Buen forbrugte Energi, saaledes at $I_0 U$ er den Resten af Svingningskredsen tilførte

Digitized by Google

Energimængde. Denne sidste maa være lig med Kredsens Energiforbrug; følgelig har man

$$I_0 U = I^2 R\tau = \tfrac{1}{2} I_m^{s\,2} R 2\pi \sqrt{LC} = \pi R \sqrt{LC}\, I_m^{s\,2}. \qquad (14)$$

Men ifølge Forudsætning er I_m^s meget nær lig med I_0, og (14) giver følgelig

$$U = \pi R \sqrt{LC} \cdot I_m^s. \qquad (12')$$

3. Skitsemæssig Fremstilling af Poulsen-Buens Virkemaade. Som Indledning til Fremstillingen af vor Opfattelse af Bue-Generatorens Virkemaade maa vi ganske kort omtale Magnetfeltets Indflydelse paa Buen[1]).

Det magnetiske Felt bevirker, at Buen, medens den brænder, drives udad (bort fra Elektroderandene) og desto hurtigere, jo kraftigere Feltet er. Det er ikke alene Buen selv, men ogsaa dens Fodpunkter (Kratere), der paa den Maade vandrer ud ad Elektrodernes krumme Overflade bort fra Elektroderandene, og samtidig med denne Vandring bliver Buelængden i tilsvarende Grad større. Denne Vandring af Buen bidrager i høj Grad til dens Afkøling og derigennem til en hurtig Afionisering af denne. Paa Forholdene ved Tændingen har Magnetfeltet ingen eller kun en ringe Indflydelse, idet dets Virkning jo først begyder at gøre sig gældende, naar Buen er bleven strømførende. I Løbet af den Tid, Buen brænder, faar denne imidlertid en voksende Hastighed, og naar Strømmen henimod Periodens Slutning begynder at aftage stærkt, saa vil Buespændingen stige stærkt, dels paa Grund af at Strømmen bliver mindre, men dog navnlig fordi Buen nu bevæger sig med stor Hastighed og derved kommer hen paa Steder, hvor Temperaturen er forholdsvis lav, og hvor Ionisationen i Forvejen kun er ringe. Denne Spændingsforhøjelse vil derfor ogsaa være desto større, jo stærkere Magnetfeltet er.

Er Magnetfeltet ganske svagt, vil den udviklede Slukkespænding ikke være tilstrækkelig til at opretholde Svingningerne, vi faar da kun intermitterende hendøende Svingninger svarende til de af Magnetfeltet foraarsagede Afbrydelser i Buestrømmen. Med noget stærkere Felt kan Slukkespændingen være tilstrækkelig til at opretholde Svingningerne uden dog at være stærk nok til at foraarsage en fuldstændig Af-

[1]) En udførlig Redegørelse for Magnetfeltets Betydning for Bue-Generatorens Virkemaade vil blive givet i en følgende Afhandling.

Digitized by Google

brydelse af Buestrømmen. Vi faar da det i Fig. 7 behandlede Tilfælde, der tillige er antydet skematisk i Fig. 8 a. Ved noget stærkere Felt slukkes Buen en Gang hver Periode, saaledes som fremstillet i Fig. 6 og som skitseret i Fig. 8 b. I det Øjeblik, Strømmen brydes, falder, som omtalt, Buespændingen, for derefter at vokse lineært — paa samme Maade som Kondensatorspændingen — indtil Tændspændingen er naaet, hvorefter Buen igen tændes og Buespændingen falder. Er Afstanden mellem Elektroderne kun ringe, vil Tændspændingen kun være lidt højere end Slukkespændingen. Ganske vist foregaar der en ret stærk Afionisering i den Tid, Buen er slukket, et Forhold, der i og for sig bi-

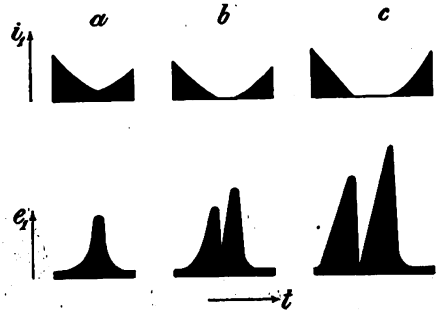


Fig. 8. Skematisk Fremstilling af Buestrøm og Buespænding ved Buens Slukning.

a. Magnetfeltet er for svagt til at give Strømafbrydning, men dog stærkt nok til at opretholde Svingningerne;
b. Magnetfeltet er lige netop saa kraftigt, at Buen slukkes;
c. Magnetfeltet er endnu kraftigere, saa Slukningstiden er længere end i b.

drager til at forøge Tændspændingen; men Virkningen heraf opvejes for en Del deraf, at Buen, der tænder sig mellem Elektroderandene, ved Tændingen har en betydelig mindre Længde end ved Slukningen. Ved endnu kraftigere Magnetfelt sker Slukningen hurtigere, og det samtidige Spændingsfald bliver tilsvarende større, saaledes som antydet i Fig. 8 c. Der hengaar nu noget længere Tid, inden den til Gentænding nødvendige Spænding naas, og paa Grund af den i Mellemtiden stedfindende Afionisering bliver den nødvendige Tændspænding tillige højere. Jo stærkere Feltet bliver, desto mere udpræget bliver dette Forhold, altsaa desto større bliver Forskellen mellem Tænd- og Slukkespænding. Vi skal i en senere Afhandling vise, at Buen arbejder bedst med et Felt, der lige akkurat er tilstræk-

Digitized by Google

keligt til at fremkalde Buens Slukning, altsaa under Forhold, hvor Slukke- og Tændspænding næsten har samme Størrelse.

Vi er her gaaet ud fra, at Elektrodeafstanden er kort, i Nærheden af den kritiske. Trækkes Elektroderne længere fra hinanden, bliver Forholdene noget anderledes. Forskellen i Buelængde ved Slukning og ved Tænding faar da mindre Betydning. Tændspændingen bliver følgelig relativt højere. Denne højere Tændspænding bevirker en hurtigere Stigning af Buestrømmen umiddelbart efter Tændingen (k bliver større), hvad atter bevirker, at Buestrømmen af sig selv falder ned til Nul ved Periodens Slutning, og falder forholdsvis brat. Buen udvikler derfor ogsaa kun en forholdsvis ringe Slukkespænding, og Buespændingen falder ved Slukningen ned paa negative Værdier. Der hengaar derfor ret lang Tid, inden Tændspændingen naas, og selve denne Spænding bliver højere paa Grund af den forholdsvis lange Tid, i hvilken Afionisationen foregaar. Jo større Afstanden mellem Elektroderne gøres, desto mere udpræget

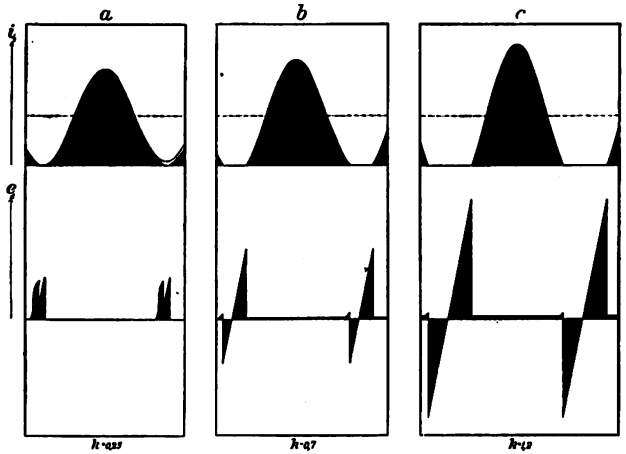


Fig. 9. Skematisk Fremstilling af Buestrøm og Buespænding.
a. med normal (lille) Elektrodeafstand;
b. med noget for stor Elektrodeafstand;
c. med meget for stor Elektrodeafstand.

bliver dette Forhold. I Fig. 9 er givet en skitsemæssig Fremstilling af Buestrøm og Spænding for tre forskellige Elektrodeafstande. *a* svarer til normal Elektrodeafstand. Slukke- og Tændspænding er omtrent lige store. I *b* er Elektrodeafstanden for stor; der opstaar her under Slukningen en betydelig negativ Spænding, og Tændspæn-

Digitized by Google

dingen er højere end i *a*, Slukkespændingen mindre. I *c* er Elektrodeafstanden endnu større, hvad der resulterer i en større, negativ Spænding ved Slukningen og en meget høj Tændspænding.

Vi skal senere se, at Buen arbejder bedst og fordelagtigst under de til *a* svarende Forhold.

D. Eksperimentel Prøve af den opstillede Teori.

1. Undersøgelse af Buespændingens Forløb.

De foregaaende Overvejelser er af mer eller mindre hypotetisk Art, og deres Rigtighed maa først paavises. En saadan Paavisning foregaar bedst paa den Maade, at man konstaterer, at Buespændingen ved Variation af Magnetfelt og Elektrodeafstand netop opfører sig paa den i Fig. 8 og 9 skitserede Maade. En saadan Paavisning frembyder imidlertid betydelige Vanskeligheder. Undersøgelsen bør foretages, medens Buen arbejder som Højfrekvens-Generator, og den bør helst give Forløbet af Spændingen indenfor enkelte Perioder og ikke Middelværdier for en Række paa hinanden følgende. Naar disse Fordringer skal opfyldes, kan der vistnok kun være Tale om at benytte Gehrckes Kathodelys Oscillograf[1]). Denne Metode opfylder de stillede Fordringer, men den har den Mangel, at Lysintensiteten er saa ringe, at det med de store Registreringshastigheder, der her nødvendigvis maa anvendes, er meget vanskeligt at opnaa tilstrækkelig kraftige Fotografier. Det er derfor nødvendigt at anvende meget følsomme Plader, og selv med disse bliver de optagne Spændingsoscillogrammer kun svage. En anden Vanskelighed ved Anvendelsen af Gehrckes Katodelysrør er den, at selv de maksimale Spændinger paa Buen, der normalt fremkommer ved de her benyt-

[1]) E. Gehrcke: Verh. D. Phys. Ges. Bd. 6, p. 176—178. 1904; Zeitschr. f. Instrumentkunde. Bd. 25, p. 33—37, 278—280. 1905. En nærmere Beskrivelse findes ogsaa i Zenneck: Lehrbuch d. drahtlosen Telegraphie, p. 5—6. (Stuttgart 1916). Gehrckes Rør er fyldt med Kvælstof ved lavt Tryk. Elektrodernes dannes af to Metalbaand, der er anbragte i hinandens Forlængelse. Sendes en Strøm gennem Røret, vil Længden af den Del af Katoden, der dækkes af Katodelyset, være proportional med Strømmens Styrke. Indskydes derfor en stor Modstand mellem Spændingskilden og Røret, saa vil Længden af den Lyslinie, der ses, naar man betragter Elektroderne fra Kanten, være proportional med Spændingen. Røret har ingen (hidtil) paaviselig Træghed.

Digitized by Google

tede Opstillinger, er for lave til at faa Røret til at lyse. Denne Vanskelighed kan man dog komme over ved at »polarisere« Røret med en tilstrækkelig høj konstant Spænding. Opstillingen er vist i Fig. 10, hvor *G* betegner Gehrckes Rør, *FP* den fotografiske Plade, *HS* det hurtig roterende Spejl. I Serie med Røret og Buen er indskudt et Batteri paa 500 Volt, og for at hindre, at der kommer nogen videre Jævnstrøm gennem Røret — hvorved dette bliver »trægt« — er der i Serie dermed indskudt en meget stor Glødelampemodstand LB_1 og en mindre Modstand LB_2. Rørets Tændspænding ligger om-

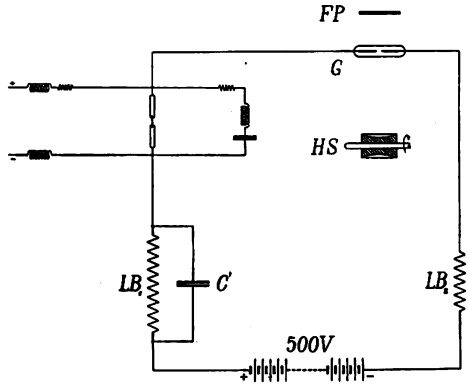


Fig. 10. Diagram af Gehrckes Katodelysoscillograf. *G* Gehrkes Rør; *HS* hurtig roterende Spejl: *FP* fotografisk Plade.

kring 6 à 700 Volt, og da Buens Brændespænding i Almindelighed ligger i Nærheden af 50 Volt eller endog betydelig lavere, vil Røret kun lyse i de Tidsrum, hvor Buespændingen er en Del højere end Brændespændingen. For paa den anden Side at faa de »Lysglimt«, der kommer, saa udprægede som muligt, var den store Modstand LB_1 shuntet med en Kondensator C', hvis Kapacitet var 25000 cm. En Overslagsregning viser, at Kondensatoren C' overfor de hurtige Spændingsstød, det her drejer sig om, praktisk talt virker som en Kortslutning af Modstanden LB_1.

Fig. 11 og 12 viser Reproduktioner af nogle af de optagne Oscillogrammer af Buespændingen. Fig. 11 a og 12 a svarer til normale Forhold, er altsaa optagne med et Magnetfelt, der er tilstrækkelig stærkt til at slukke Buen for hver Periode, men heller ikke meget stærkere, og med en kort Elektrodeafstand i Nærheden af den kritiske.

Digitized by Google

Paa Oscillogrammerne ses kun Slukke- og Tændspænding. Brændespændingen har ikke været tilstrækkelig stærk til at faa Røret til at lyse. Baade i Fig. 11 a og 12 a er Tændspændingen kun ganske lidt højere end Slukkespændingen, og man har et udpræget Spændingsfald mellem begge; Buen har været slukket en ganske kort Tid.

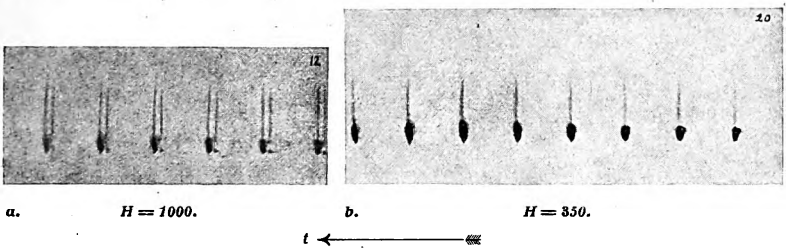


Fig. 11. Oscillogrammer af Buespændingen. ($\lambda = 8700$ m.; $I_0 = 20$ Amp.; $R = 4$ Ohm; $\varrho = 285$ Ohm.)
a. Normalt Magnetfelt;
b. for svagt Magnetfelt.

Formindskes Magnetfeltet passende, kan man faa det i Fig. 11 b viste Resultat. Her er der kun en enkelt Spændingstop; Buen slukkes ikke fuldstændig. Vi gaar derefter over til at betragte Virkningen af en Forøgelse af Elektrodeafstanden d, der i Fig. 12 a har den normale Værdi 1 mm. I Fig. 12 b er d forøget til 1,5 mm. Resultatet er, at Tændspændingen her er en Del højere end Slukkespændingen, medens større negative Spændinger dog endnu ikke viser sig. Forøges d til 4 mm, faas det i Fig. 12 c viste Spændings forløb. Her er Slukkespændingen bleven lavere og samtidig optræder kraftige negative Spændinger i Slukningsøjeblikket. Endelig er Tænspændingen blevet meget højere. En Sammenligning af de paa Grund af den her fremsatte Opfattelse af Buens Virkemaade skitserede Figurer 8 og 9 med Oscillogrammerne i Fig. 11 og 12 viser den mest fuldkomne Overensstemmelse og danner saaledes et Bevis for den her fremsatte Anskuelses Rigtighed.

Det fremgaar tillige af denne Undersøgelse, at S.-B.-Teorien i Hovedsagen stemmer overens med Forholdene, naar Elektrodeafstanden er stor. Grunden til, at man i Praksis ikke bruger denne store Elektrodeafstand, men derimod den mindst mulige, er følgende: 1) Jo større Buelængden er, desto større er Brændespændingen, og desto

Digitized by Google

mindre er Generatorens Nyttegrad. 2) De høje Tændspændinger er ubehagelige at arbejde med. 3) Paa Grund af den forholdsvis lange Tid, Buen er slukket, bliver Afionisationen meget kraftig, og smaa Tilfældigheder kan derfor faa stor Indflydelse paa Tændspændingens

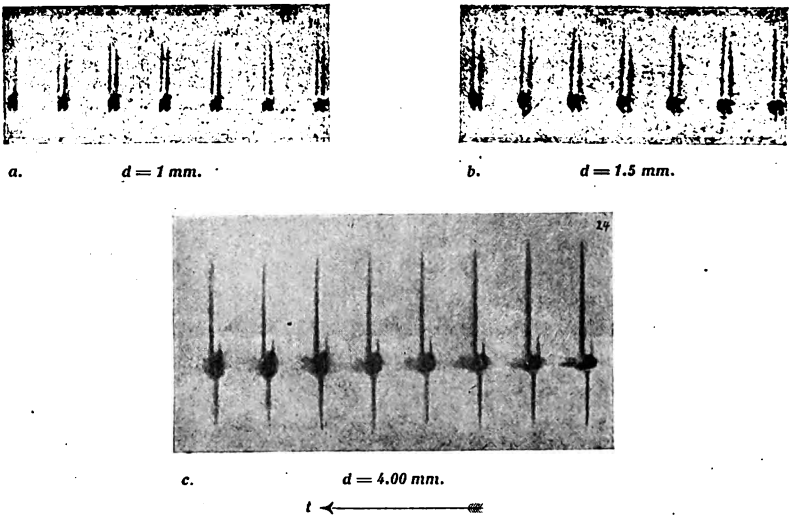


Fig. 12. Oscillogrammer af Buespændingen. (λ=8700 m.; $I_0 = 20$ Amp.; $R =$ 2 Ohm; $\varrho = 285$ Ohm; $H = 1000$ Gauss).
a. Normal Elektrodeafstand ($d = 1$ mm);
b. for stor Elektrodeafstand ($d = 1.5$ mm);
c. meget for stor Elektrodeafstand ($d = 4.0$ mm).

Størrelse. En Variation i Tændspændingen bevirker imidlertid ogsaa en Forandring af Perioden. De frembragte Svingningers Frekvens er derfor ved stor Elektrodeafstand tilbøjelig til at variere. 4) En tilfældig Forandring i Forholdene faar let Buen til at gaa ud.

Den her fremsatte Anskuelse — nemlig, at Slukke- og Tændspænding er omtrent lige store i den normale Poulsen-Bue, og at det er den første, der især er afgørende for Buens Virkemaade — er yderligere blevet bekræftet gennem en Række Undersøgelser over det magnetiske Felts Indflydelse. Resultatet af disse Undersøgelser meddeles i en følgende Afhandling.

København, Oktober 1918.

Digitized by Google

Fysisk Forening.

Fysisk Forening stiftedes den 29. September 1908 og fylder saaledes i indeværende Efteraar 10 Aar.

Paa den ordinære Generalforsamling, der d. 21. Novbr. afsluttede dette 10. Foreningsaar, aflagde Formanden, Professor N. Bohr, Aarsberetning. Han oplyste bl. a., at der i alt i de 10 Aar er afholdt 171 Møder. Foreningen tæller i Øjeblikket 74 Medlemmer. Til Medlemmer af Bestyrelsen genvalgtes Formanden, Prof. N. Bohr, og Kassereren, cand. mag. Johs. Olsen, og nyvalgtes cand. mag. Helge Holst i Stedet for Dr. phil. Fru K. Meyer, der efter Lovene ikke mere kunde genvælges.

Ved Afslutningen af disse første 10 Aar af Fysisk Forenings Liv er der Grund til at betone, hvor megen Betydning den har haft for Hovedstadens fysikinteresserede, og hvor godt den har haft Held til at løse sin Opgave. Der er i de 10 Aar næppe fremkommet noget dansk fysisk Arbejde, som ikke har været forelagt og diskuteret i Foreningen, og alle vigtigere udenlandske Arbejder er bleven refereret. Udover de ordinære Møder har der endvidere undertiden været afholdt kortere Forelæsningsrækker over aktuelle Emner, og arrangeret Besøg i Institutioner eller Laboratorier, som kunde have Interesse for Fysikere; man mindes saaledes Besøgene i Radiotelegrafstationen ved Lyngby, Statsprøveanstalten, det magnetiske Observatorium i Rude Skov og det fotokemisk-fotografiske Laboratorium. Endelig blev der tidligt indledt Samarbejde med Matematisk og Kemisk Forening, saaledes at man gensidigt indbyder hinandens Medlemmer til de Foredrag, der egner sig dertil.

Af udenlandske Gæster, som har talt i Foreningen, mindes man Professor Rydberg fra Lund, Professor Bjerknes fra Bergen, Docent Siegbahn fra Lund o. fl. I størst Glans blandt Foreningens Minder staar dog vistnok Besøget i Lund i Efteraaret 1916. Endnu har det paa Grund af de sidste Aars vanskelige Rejseforhold ikke været muligt at gengælde dette Besøg ved at indbyde Lunds Fysikere til København, men efter Formandens Udtalelser paa Generalforsamlingen staar en saadan Indbydelse øverst paa Foreningens Program for det kommende Aar.

»Fysisk Tidsskrift« ønsker Fysisk Forening til Lykke med de første 10 Aars flittige Arbejde og udtaler Haabet om, at den maa have lige saa meget Held til i de kommende Aar at samle danske Fysikere og virke for den danske Fysiks Trivsel. *H. M. H*

Digitized by Google

Anmeldelser.

Felix Auerbach: Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. B. G. Teubner, Leipzig. 1917. 4. Aufl. 146 S. (Aus Natur und Geisteswelt. Bd. 40). Pris indb. 1,50 Mk.

Paa Titelbladet angives, at Bogen skal være en »Einführung in die Physik«. Det kan imidlertid næppe være Forf.s Mening, at den skal være det første, man stifter Bekendtskab med, naar man vil læse sig til Oplysning om Naturkræfterne. Dertil er den alt for almen, righoldig og af en alt for sammentrængt Fremstillingsform og som Følge deraf ikke belagt med tilstrækkelig mange praktiske Eksempler, hvorvel der er en kendelig Bestræbelse i den Retning. — Derimod vil den kunne læses med betydeligt Udbytte af Folk, som har saa meget Kendskab til Fysik, som vore Børneskoler kan give. Det er nemlig Bogens Opgave gennem en let tilgængelig Form at give Læserne en Fremstilling af Grundprincipperne, de almene Begreber i Fysikken. Her behandles nemlig: Rummet, Tiden, Bevægelse (derunder Svingninger, Bølgebevægelse, Straaling), Kraft og Masse (derunder C G S-Systemet, sidestillet med det praktiske Maalesystem), Stoffets Egenskaber (Konstans, Elasticitet, Tilstandsformer, Temperatur, Molekyler, Atomer, Elektroner), Arbejde og Energi, Energi og Entropi i Forhold til hinanden. Ja endog saa sarte Begreber som Relativitets- og Kvanteteorien strejfes.

Behandlingen er langt mere indgaaende end i smaa Lærebøger. Der stilles ikke Krav til matematiske Forudsætninger, hvorimod grafisk Fremstilling er brugt alle Vegne, hvor det er gørligt.

I Slutningskapitlet vises de mørke Udsigter, der kan følge af Entropiens stadige Vækst. Dog paapeges, som en Trøst i det triste, at der ogsaa gives Koncentrations- eller Værdistigningsprocesser; som Eks. herpaa nævnes fra den uorganiske Natur Vandets Kredsløb og Krystallisation. »Men det videst rækkende Eksempel frembyder Livets Fænomener; og man fejler vist ikke, naar man betragter Livet som en Organisation, som Naturen har skabt sig i Kampen mod Energiens Degradation«. Men selv denne ejendommelige Ide er næppe nogen Haandsrækning for dem, der søger Forklaring paa Livets Gaade.

J. Jeppesen.

Digitized by Google

Magnetfeltet i Poulsen-Buen.

Om Poulsen-Buens Teori. II.

Af

P. O. Pedersen.

A. Magnetfeltets Indflydelse paa Poulsen-Buens Virkemaade.

1. Buefotografier. For at komme til Klarhed angaaende Magnetfeltets Indflydelse er der anstillet en Række Forsøg og navnlig ogsaa optaget en Mængde Fotografier af Buer og disses Kratere

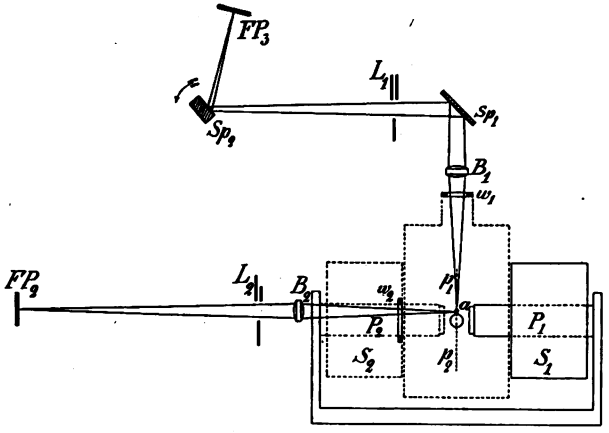


Fig. 1. Skematisk Fremstilling af Arrangement for Optagelse af Profilbilleder (FP_2) og Krateroscillogrammer (FP_3).

ved Hjælp af den i Fig. 1 skitserede Opstilling[1]). Det ene Polstykke P_2 og den tilsvarende Traadrulle S_2 er her borttaget, og det frem-

[1]) Med Hensyn til de øvrige Forsøgsbetingelser og Opstillinger samt Betegnelser henvises til en foregaaende Artikel: »Om Poulsen Buens Virkemaade«. Citeres i det følgende som PB I.

Digitized by Google

komme Hul i Kammerets Side lukket med Glimmervinduet w_2. Gennem dette kan man ved Hjælp af Linsen B_2 og den fotografiske Plade FP_2 optage et »Profilbillede« af Buen. Kammerets Laag er lukket med Glimmervinduet w_1. Gennem dette kan man ved Hjælp af Linsen B_1, Metalspejlet Sp_1, det hurtig roterende Metalspejl Sp_2 og den fotografiske Plade FP_3 optage Billeder af den variable Bue-Kratertilstand med Tiden som Abscisse. Vi vil i det følgende kalde saadanne Billeder »Krateroscillogrammer«. Lukkerne L_1 og L_2 giver en Expositionstid paa ca. 0.01 Sekund.

2. Normale Buer. Ved normale Buer forstaar vi saadanne, 1) hvor Magnetfeltet netop er tilstrækkelig stærkt til at slukke Buen,

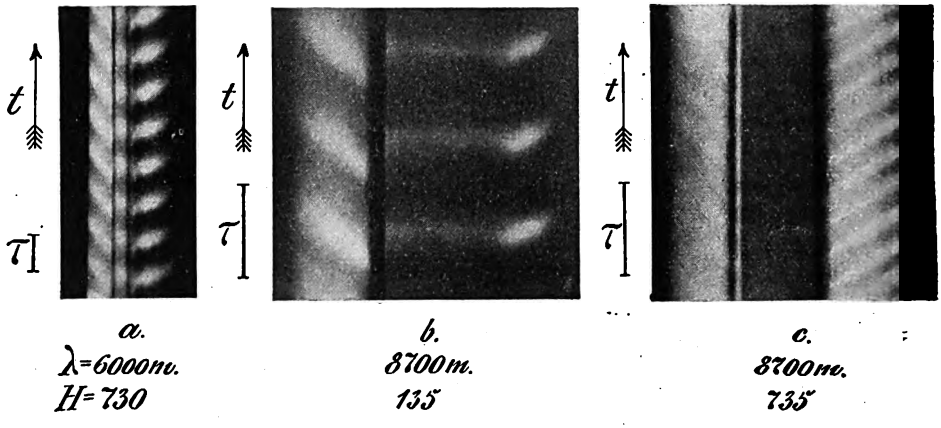


Fig. 2. Krateroscillogrammer. (Katoden til venstre). $\varrho = 200$ Ohm.

a. Gas. ($R = 1$ Ohm; $I_0 = 17$ Amp.; $V_0 = 72$ Volt.)
b. Brint. ($R = 1$ Ohm; $I_0 = 20$ Amp.; $V_0 = 135$ Volt.)
} Normale Krater-oscillogrammer. (Fig. 4 I).

c. Gas. ($R = 2$ Ohm; $I_0 = 20$ Amp.; $V_0 = 112$ Volt.) For stærkt Magnetfelt. (Fig. 4 II).

eller i hvert Fald ikke meget stærkere, end hvad dertil kræves; 2) hvor Elektrodeafstanden har en Værdi, der ikke er meget større end den mindste Værdi, ved hvilken Buen arbejder regelmæssigt. Under saadanne Forhold faas Krateroscillogrammer af det i Fig. 2 a og b samt Fig. 3 b', viste Udseende, medens Profilbilledet viser een

Digitized by Google

Digitized by Google

enkelt, forholdsvis lille Bue, saaledes som det fremgaar af Fig. 3 b [1]). De nævnte 3 Krateroscillogrammer viser, at den normale Bue een Gang i hver Periode tænder ved Elektroderandene og af Magnetfeltet drives bort fra disse. Ved Periodens Slutning slukker Buen i den ydre Stilling for derefter næste Gang igen at tænde ved Elektroderandene.

Til Hjælp ved en nærmere Betragtning af Krateroscillogrammerne vil vi søge at bestemme den teoretiske Form af Kraterbilledet indenfor en Periode. Vi kan dog ikke vente nogen stor Overensstemmelse mellem det teoretiske Resultat og Virkeligheden; dels vil Katoden altid fortæres mer eller mindre, hvorved dens Overflade taber sin geometrisk veldefinerede Form, men navnlig er vort Kendskab til Bevægelsen af en Bue i et magnetisk Felt ret mangelfuldt. Tiltrods herfor vil dog den nævnte Undersøgelse ikke være ganske interesseløs.

Ved Beregning af den Hastighed, hvormed Magnetfeltet driver Buen ud, vil vi gaa ud fra følgende Forudsætninger: 1) Strømtætheden σ i den egentlige Buekærne er den samme over hele Tværsnittet; 2) Buetværsnittet, hvis Areal er A, beholder sin Form uforandret under Vandringen; 3) dennes Størrelse x bestemmes ved Ligningen:

$$Ap\frac{d^2x}{dt^2} = \tfrac{1}{10} A\sigma H, \qquad (1)$$

hvor p er Buens Vægtfylde.

Det er sikkert, at disse Forudsætninger kun delvis er opfyldte: saaledes vil Buen under sin Bevægelse ikke alene, helt eller delvis, medføre den Luftmasse, der findes i selve Kærnen, men ogsaa en Del af den omgivende Luft. Paa den anden Side vil den opstaaende Luftstrøm virke accelererende paa en efterfølgende Bue. Endelig er selve Forudsætningen om, at Buen i hvert Fald medfører den overvejende Del af den i Kærnen værende Luftmasse, ret hypotetisk, selv om der er meget, der taler for, at den gjorte Antagelse i Hovedsagen er rigtig, naar, som i det her betragtede Tilfælde, Strømtætheden er stor. I hvert Fald danner Ligning (1) det simplest tænkelige Ud-

[1]) Ved Kopieringen af alle Krateroscillogrammer er Billedet af det negative Krater — hvis Lysintensitet er meget større end det positive Kraters — eksponeret noget længere end Billedet af det positive Krater.

Digitized by Google

gangspunkt for vore Betragtninger, og da det øjeblikkelige Maal kun er at faa en i Hovedtrækkene rigtig Forestilling om Buens Bevægelse, vil vi ikke uddybe dette Emne nærmere, men simpelthen lægge Ligning (1) til Grund for vore Betragtninger.

Vi vil yderligere simplificere Regningerne ved at forudsætte, at Buestrømmen er konstant over en Del af Perioden, Nul i Resten af denne. Den omtalte Del, i hvilken Strømmen forudsættes konstant, sættes skønsmæssig til $\sqrt{\frac{1}{2}}$ Perioden.

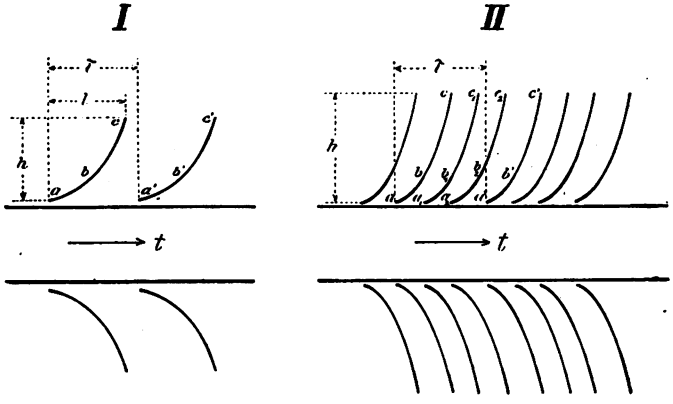


Fig. 4. Skitsemæssig Fremstilling af Krateroscillogrammernes teoretiske Form. τ betegner Perioden.
I. Normale Krateroscillogrammer.
II. Krateroscillogrammer i for stærkt Magnetfelt (med 3 Gentændinger pr. Periode).

Ved Integration af Ligning (1) under Forudsætning af, at Vandringen x maales ud fra Buens Tændingspunkt a (se Fig. 4 I), og at Buens Hastighed i dette Punkt er Nul, samt at Tiden regnes fra Tændingsøjeblikket, faas

$$x = \frac{I_0 H}{20 A p} \cdot t^2 \text{ og } \frac{dx}{dt} = v = \frac{I_0 H}{10 A p} \cdot t = \frac{\sigma H}{10 p} \cdot t, \qquad (2)$$

hvor v er Buens Hastighed.

Kraterbilledets Form bliver herefter en Parabel med Toppunktet i Tændingspunktet og Aksen vinkelret paa Tidsaksen. Krateret ender i Afstanden h fra Tændingspunktet bestemt ved

Digitized by Google

$$h = \frac{I_0 H}{20Ap} \cdot l^2 = \frac{I_0 H}{20Ap} \cdot \tfrac{1}{2} r^2 = \frac{I_0 H \lambda^2}{36 \cdot 10^{17} Ap} = \frac{\sigma H \lambda^2}{36 \cdot 10^{17} p}. \qquad (3)$$

Vi vil gaa over til at se, hvorledes de efter (3) beregnede Værdier af h stemmer med de virkelig forekommende. For at kunne anvende Ligning (3) maa man kende Værdierne af σ og p. σ har vi søgt at bestemme ved paa Matskiven at maale Tværsnittet af den violette Buekærne. Bestemmelsen er ret usikker, men gav tilsyneladende samme Værdier for Belysningsgas og Brint, de eneste Luftarter, der anvendtes i Buekammeret under disse Forsøg; den sandsynligste Værdi kan maaske sættes til $\sigma = 2000$ Amp. pr. cm^2. For at bestemme p, »Buens Vægtfylde«, maa man kende Temperaturen i Buen. Denne er, baade i Brint og Gas, forholdsvis lav; men nogen Temperaturbestemmelse har vi ikke foretaget; vi har skønsmæssig sat Vægtfylden til $^1/_4$ af den ved 0°, svarende til en Temperatur paa ca. 1100°. I Tændingsøjeblikket er Temperaturen sikkert lavere, senere rimeligvis højere. Sættes Erintens Vægtfylde ved 0° til 0,00009 g/cm^3 og Gassens til 0,00045 g/cm^3, giver derfor Formel (3)

for Brint

$$h = \frac{2H\lambda^2}{81 \cdot 10^9}, \qquad (4)$$

og for Gas

$$h = \frac{2H\lambda^2}{405 \cdot 10^9}. \qquad (5)$$

I nedenstaaende Tabel er sammenligningsvis opført de beregnede og de maalte Værdier af h i fire Tilfælde:

h beregnet mm	h maalt mm	Bemærkninger:
0.66	0.37	Maalt paa Anoden
0.38	0.45	Maalt paa Katoden
1.3	0.9	Maalt paa Katoden
1.3	1 2	Maalt paa Anoden
2.7	2.0	Maalt paa Katoden

De maalte Værdier for h er gennemgaaende noget lavere end de beregnede: hermed stemmer det godt overens, at selve Buens

Digitized by Google

Vandring er større end Kraternes, som det vil fremgaa af en Betragtning af de viste Profilbilleder. (Se særlig Fig. 3 d og Fig. 5 a og b). Den opstillede, rent foreløbige og kalkulatoriske Teori har saaledes i Hovedsagen bekræftet sig.

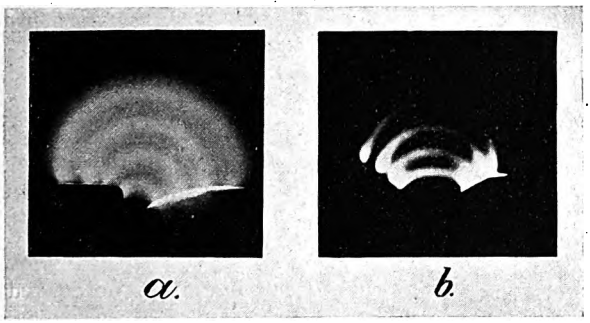


Fig. 5. Profilbuer med 4 Buer.
a. i Gas. b. i Brint.

Af det foregaaende følger, at Buens og Kraternes Hastighed er mindst straks efter Tændingen; man maa derfor ogsaa vente, at det negative Kraters Temperatur er højest i Nærheden af Tændingspunktet. At dette virkelig forholder sig saaledes, fremgaar meget tydelig af Fig. 2 b. Denne forholdsvis høje Temperatur i Nærheden af Elektroderanden letter selvfølgelig Gentændingen af Buen paa dette Sted.

Vi har hermed i Hovedsagen klarlagt Magnetfeltets Indflydelse under normale Forhold og paavist, at denne er i Overensstemmelse med den i en tidligere Artikel[1]) givne skitsemæssige Fremstilling af Poulsen-Buens Virkemaade. Vi skal derefter gaa over til at betragte de unormale Forhold — med forholdsvis for stærkt og for svagt Felt, — der frembyder en Del Ejendommeligheder af betydelig Interesse.

3. Forstærkt Magnetfelt. Et Oscillogram optaget med for stærkt Felt er vist i Fig. 2 c. Den af Krateret beskrevne Kurve bestaar her som Regel ikke af et enkelt Kurvestykke for hver Periode, men af flere indbyrdes parallele, parabellignende Kurvestyk-

[1]) PB I.

Digitized by Google

ker, i Fig. 2 c af 3 for hver Periode. Da det er vanskeligt at følge Kraterkurvens Forløb paa Fotografierne — og endnu vanskeligere paa Reproduktionen — har vi i Fig. 4 II tegnet en skematisk Figur til at anskueliggøre Forholdene. Forklaringen kan i Hovedsagen tænkes givet paa een af to Maader, nemlig enten gaaende ud fra, at de forskellige Kurvestykker indenfor samme Periode gennemløbes efter hinanden, eller at de opstaar samtidig. I første Tilfælde forudsætter vi, at Buen tændes ved a, hvor Hastigheden straks er lille, for derefter paa Grund af det stærke Felt at vokse hurtig. Det negative Kraters Temperatur er, som omtalt ovenfor, forholdsvis høj ved a, men aftager ret hurtig, efterhaanden som Krateret bevæger sig udad. Resultatet af den hurtig faldende Kratertemperatur, der ledsages af en hurtig aftagende Ionisation, er en hurtig voksende Buespænding, der atter bevirker den nye Buetænding ved a_1, hvor Temperaturen endnu er forholdsvis høj. Den nydannede Bue tiltager paa den gamles Bekostning, og denne slukkes helt ved c, for eventuelt atter senere at blive erstattet af en ny, ved a_2 tændt Bue. Mod Slutningen af Perioden, hvor Strømstyrken kun er ringe, aftager Kratertemperaturen, og Buespændingen vokser, hvorefter der foregaar en ny Tænding ved a'. Slukke- og Tændspænding har Værdier i Nærheden af de normale, saaledes som det fremgaar af de optagne Spændingsoscillogrammer, hvis Udseende er ganske normalt selv for en Feltstyrke, der er betydelig over det normale. De mellemliggende »Takker« paa Buespændingskurven, svarende til Gentændingen ved a_1 og a_2 og Slukningen ved c_1 og c_2 (Fig. 4 II), er saaledes, hvis de findes, ikke store nok til at vise sig ved den benyttede Optagelsesmetode af Spændingsoscillogrammerne. Dette Forhold kan tyde paa, at den sidste af de ovenfor anførte Forklaringsmuligheder er den rigtige. I saa Fald maa man forestille sig, at de forskellige Grene skyldes hver sin Bue, og at disse Buer starter samtidig fra Punkterne a, a_1 og a_2 og af Magnetfeltet drives udad paa samme Maade for atter ved næste Periodes Begyndelse alle igen at tændes ved Elektroderanden. Det har endnu ikke været muligt med Sikkerhed at afgøre, hvilken af de to Opfattelser, der er den rigtige. I nogle Tilfælde har man dog ogsaa kun een Bue selv ved forholdsvis meget kraftigt Felt. Fig. 3 a′ viser et Eksempel herpaa. Kraterkurvens Længde er selvfølgelig ogsaa i dette Tilfælde større end ved svagere Felter. Det vides endnu ikke hvilke Forhold, der er afgørende for,

Digitized by Google

om der indenfor en Periode optræder en enkelt eller flere parallele Kraterkurver. En fuldstændig Udredning af disse Forhold vil derfor kræve yderligere Undersøgelse, men der er næppe Tvivl om, at een af de givne Forklaringer i Hovedsagen er rigtig. Krateroscillogrammerne viser i hvert Fald med Sikkerhed, at der i for stærke Felter kan findes 2 eller flere helt eller delvis samtidige Buer. Det er indlysende, at det for stærke Felt medfører en Forhøjelse af Fødespændingen V_0, saaledes som det senere vil blive omtalt, og derfor en Formindskelse af Nyttegraden. Det for stærke Felt er derfor uheldigt, baade hvad Økonomi og Regelmæssighed angaar.

4. For svagt Magnetfelt. Det for svage Magnetfelt giver Anledning til et helt andet Forløb af Buefænomenet. Grunden hertil maa søges i to Forhold, der følger af eller med det svage Felt, nemlig for det første den Omstændighed, at Buen ikke slukkes fuldstændig, for det andet den ringe Vandring Bue og Krater udfører i Løbet af en Periode. Det samlede Resultat heraf bliver

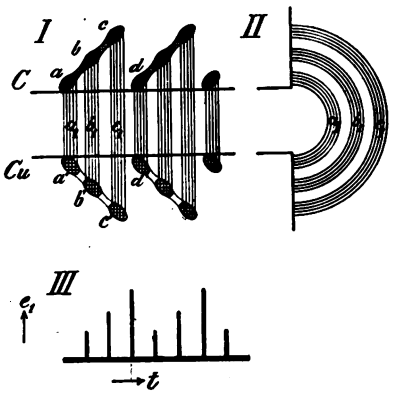


Fig. 6. Skematisk Fremstilling af Forholdene i for svagt Magnetfelt. I. Krateroscillogram. II. Profilbillede. III. Spændingsoscillogram.

en udpræget Tendens til, at Buen »tændes« igen, eller rettere sagt fortsætter, paa de Steder, hvortil Kraterne i Periodens Løb er vandret ud. Er Feltet meget for svagt, gentages dette flere Gange, nemlig indtil Buen har naaet en saadan Længde, at Gentændingen lettere finder Sted mellem Elektroderandene, hvorefter det samme Spil gentager sig. Disse Forhold er skematisk antydet i Fig. 6, hvor

Digitized by Google

det er forudsat, at Buen hver 3die Gang tændes ved Kraterranden. Denne Tænding kræver en betydelig Spænding, medens den paafølgende Slukke- og Tændspænding bliver forholdsvis lille, den næste atter lidt større, saaledes som antydet i Figuren. At Buespændingen virkelig faar et saadant Forløb, fremgaar klart af Fig. 7, der fremstiller Oscillogrammer af Buespændingen optagne paa den

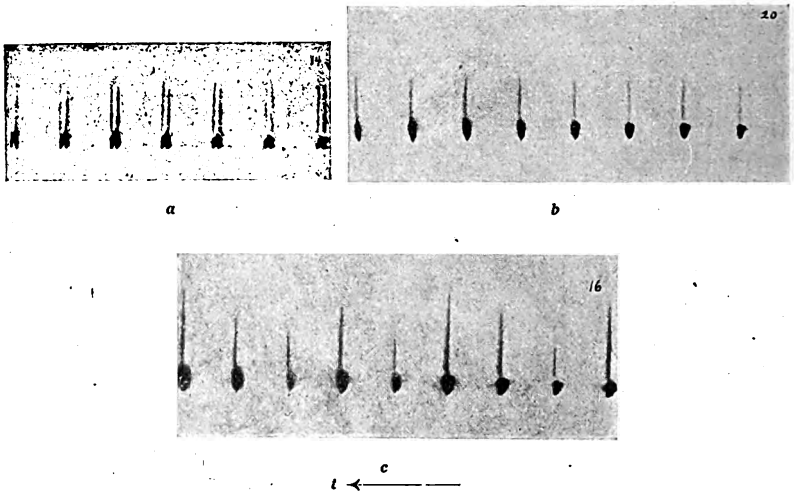


Fig. 7. Spændingsoscillogrammer. ($\lambda = 8700$ m.; $R = 4$ Ohm; $I_0 = 20$ Amp.)
a. Magnetfelt tilstrækkelig kraftigt. Buen slukker i hver Periode. Slukke- og Tændspænding normale.
b. Magnetfelt lidt for svagt. Buen slukkes ikke, men gentænder sig dog hver Periode ved Elektroderandene.
c. Magnetfelt for svagt. Buen slukkes ikke og gentænder sig kun hver 2den eller 3die Gang ved Elektroderandene.

i PB. I. omtalte Maade. I Fig. 7a er Magnetfeltet rigelig stærkt, Buen slukker hver Gang. I Fig. 7 b er Feltet saa svagt, at Buen ikke slukker fuldstændig, men Strømmen begynder dog igen i hver Periode at vokse op ved Elektroderandene. I Fig. 7 c er Feltet derimod saa svagt, at den i Fig. 6 skitserede Gentænding inde paa Elektrodernes krumme Overflade finder Sted. Buen har her tændt sig skiftevis hver 2den eller 3die Gang ved Randen.

Profilbillederne viser et til »Skridtenes« Antal svarende Antal Buer udenom hverandre, altsaa desto flere Buer, jo mere Feltet lig-

Digitized by Google

ger under det normale. Eksempler paa saadanne Profilbilleder med 2, 3 og 4 Buer er vist i henholdsvis Fig. 3 c, d og Fig. 5. Af disse Buer eksisterer i hvert enkelt Øjeblik kun een enkelt.

At Forløbet virkelig er det her beskrevne, fremgaar med fuldstændig Sikkerhed af Fig. 3 c′ og d′. I Fig. 3 c′ tændes Buen hverandren Gang ved Randen, hveranden Gang inde paa Elektroden, i d′ tændes Buen kun hver tredie Gang ved Randen. De tilsvarende Profilbilleder, c og d, viser selvfølgelig 2, respektive 3 Buer.

Det er indlysende, at disse Forhold, naar Fødestrømmen holdes konstant, vil bevirke en Forøgelse af Buens Fødespænding, da Brændespændingen stiger med Buens Længde. Nyttegraden gaar følgelig ned, naar Feltet bliver for svagt. Samtidig gaar det ogsaa ud over Regelmæsigheden. Gør Buen f. Eks. regelmæssig 2 »Skridt«, faas to Perioder, der afviger lidt fra hinanden. Dette nedsætter Svingningernes Resonansevne og bevirker, at en optagen Resonanskurve bliver skæv eller i hvert Fald faar et uregelmæssigt og samtidig fladere Forløb. Endnu mere indviklede bliver Forholdene, hvis Antallet af »Skridt« varierer; man faar i saa Fald Resonanskurver med »flad Top«.

I meget svage Felter optræder et nyt Fænomen, som vi har søgt at anskueliggøre ved Fig. 8. Buen forskydes her kun et ganske

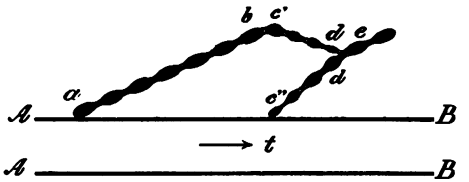


Fig. 8. Skematisk Fremstilling af Kraterbevægelsen i meget svage Magnetfelter.

lille Stykke udad for hver Periode og bliver ved dermed, indtil Buelængden er bleven saa stor og Buespændingen saa høj, at en fornyet Tænding sker ved Elektroderanden. Men da Afioniseringen i den ydre Bue er forholdsvis meget ringe, saa vedbliver denne at eksistere efter Tændingen af den nye, indre Bue, og begge fortsætter gennem en Række Perioder — den indre med voksende, den ydre med aftagende Styrke. Samtidig bevirker den elektrodynamiske Tiltrækning mellem de to samtidig eksisterende Buer, at den inderste

Digitized by Google

gaar hurtigere udad, end hvad der svarer til Magnetfeltets Intensitet, den ydre langsommere. Eventuelt har, som antydet i Fig. 8, den gensidige Tiltrækning Overhaand, saaledes at den ydre Bue vandrer indad. Et saadant Tilfælde ses paa Fig. 9, der ganske svarer til Fig. 8. Forholdene kan blive endnu mere indviklede, idet der kan eksistere en hel Række Buer samtidig. Fænomenet skyldes de foran fremhævede Forhold i Forbindelse med, at Buespændingen i Virkeligheden ikke falder straks efter Tændingen, men i en endelig om end kort Tid bliver oppe paa den høje Tændspænding, ja maaske endog stiger yderligere. Det er en Selvfølge, at Buegeneratoren i saa svage Felter arbejder uregelmæssig.

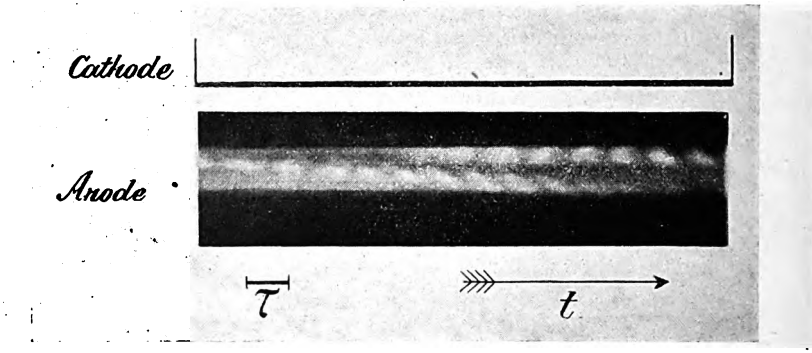
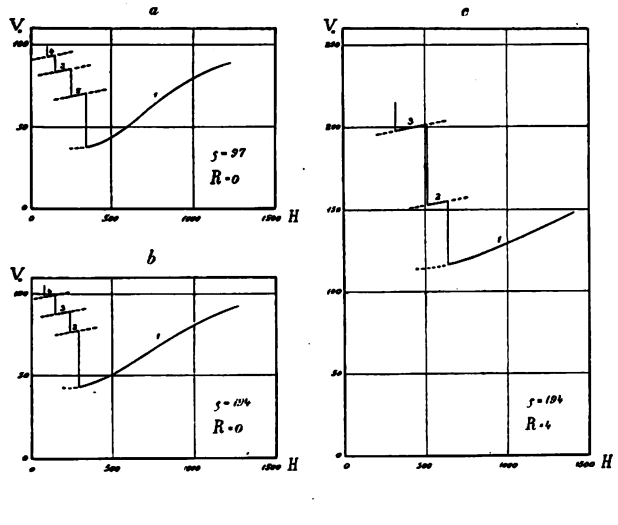


Fig. 9 Krateroscillogram af Anoden ved meget svagt Magnetfelt. (τ angiver Perioden; $\lambda = 6000$ m.; $R = 1$ Ohm.; $\varrho = 200$ Ohm; $I_0 = 15$ Amp.; $H = 7$).

5. Det fordelagtigste Magnetfelt. Det foregaaende viser, at Buen bør brænde i det svageste Felt, H^0, i hvilket den arbejder normalt med kun een Tænding pr. Periode og altid Tænding ved Elektroderandene, idet baade et stærkere og et svagere Felt giver højere Fødespændinger. H^0 er saaledes den fordelagtigste Feltstyrke, altsaa den, ved hvilken Buens Nyttegrad er højest. Som vi har set, arbejder Buen ogsaa kun fuldstændig regelmæssig, naar Feltintensiteten ligger i Nærheden af H^0. For at vise Sammenhængen mellem V_0 og H har vi optaget en Række sammenhørende Værdier og afsat disse paa Fig. 10. Man ser, at V_0 aftager ret jævnt med H indtil et vist Punkt, nemlig det, hvor Buen ikke altid tændes ved Elektroderandene, hvor saa V_0 stiger ret pludselig. Den Del af Kurven, der

Digitized by Google

svarer til endnu mindre Værdier af H, er meget variabel, idet Antallet af »Skridt«, altsaa ogsaa det tilsyneladende Antal af »Profilbuer«, forandres for ganske smaa Tilfældigheder; men jo flere Profilbuer, desto højere Værdi af V_0, og jo lavere H er, desto flere Profilbuer findes der. Nogen regelmæssig Kurve kan ikke tegnes, men de viste Kurver svarer i Hovedsagen til Maalingerne samtidig med, at de antyder det formentlige, teoretiske Forløb.



$\lambda = 6000$ m. $I_a = 20$ Amp.

Fig. 10. Relation mellem Fødespændingen (V_0) og Magnetfeltets Intensitet (H). Tallene paa Kurverne angiver Antallet af Buer i Profilbilledet.

Fig. 3 a—d giver et ret anskueligt Billede af dette Forhold. Her svarer Krateroscillogrammet b' og Profilbilledet b omtrent til det fordelagtigste Felt, medens H i a, a' er for stort og i c, c' og d, d' for lille. Navnlig Profilbillederne giver et levende Indtryk af, hvor lille Buen er i den normale Bue, og hvor — i al Fald tilsyneladende — stor den er baade ved for stærkt og for svagt Felt.

Det foregaaende viser, at Buegeneratoren arbejder mest økonomisk og samtidig regelmæssigst ved den fordelagtigste Feltintensitet. Dette hindrer ikke, at man kan fjerne sig en Del fra den fordelagtigste Værdi, H^0, baade opad til stærkere og nedad til svagere Feltstyrker, og Buen dog vedblive at arbejde tilsyneladende regelmæs-

Digitized by Google

sig; der er saaledes ikke noget i Vejen for, at Buen brænder regelmæssig og rolig med 2 à 3 Profilbuer, altsaa med et for svagt Felt. Det er dog, som foran fremhævet, klart, at man i dette Tilfælde ikke faar regelmæssige Svingninger, og ved Undersøgelser over Poulsen-Buens Frekvenskonstans maa man derfor selvfølgelig sørge for, at Forholdene er normale med den rigtige Værdi af Magnetfeltet. Naar K. Vollmer[1]) i sit store Arbejde over Buegeneratorens Frekvensvariationer om dette Punkt kun bemærker, at Undersøgelserne er foretagne »an einer Lampe mit Querfeld« (l. c. pag. 150), saa har hans Resultater derfor kun ringe Betydning for Praksis. Det samme gælder andre lignende Undersøgelser.

B. Yderligere Konsekvenser af den her fremsatte Teori.

1. Det fordelagtigste Magnetfelts Afhængighed af Bølgelængden. Den foregaaende Undersøgelse har i Hovedsagen klarlagt Magnetfeltets Indflydelse paa Buen, naar denne virker som Generator for kontinuerlige, højfrekvente Svingninger. Vi skal nu gaa over til at se, hvilke Slutninger man, under Benyttelsen af det erhvervede Kendskab til Magnetfeltets Virkemaade, kan drage af den fremsatte Teori med Hensyn til den heldigste Feltintensitets Afhængighed af Buekredsens Konstanter og Fødestrømmens Styrke. Vi vil først undersøge, hvorledes den fordelagtigste Værdi af Magnetfeltet, H^0, afhænger af Bølgelængden, naar baade Fødestrømmens Styrke og alle Buekredsens andre Parametre holdes konstante.

I en foregaaende Afhandling (PB. I) fandt man, at den nødvendige gennemsnitlige Slukkespænding E' er proportional med Produktet af Fødestrømmen og Buekredsens Modstand, men iøvrigt uafhængig af Buekredsens Konstanter, altsaa

$$E' = a \cdot I_0 R, \tag{1}$$

hvor a er en Konstant.

Det ligger nu overmaade nær at antage, at den Hastighed, hvormed Buen bevæger sig i Slukningsøjeblikket, er bestemmende for Slukkespændingen, idet denne vokser med Hastigheden. Men den Hastighed, Buen faar ved Slukningen, vil, som vi saa ovenfor,

[1]) K. Vollner: Jahrb. d. drahtl. Tel. Bd. 3. p. 117—174, 213—249. 1910.

Digitized by Google

alt iøvrigt lige, være proportional med Perioden, altsaa ogsaa proportional med Bølgelængden λ; herefter skal det fordelagtigste Felt H^0 og Bølgelængden λ tilfredsstille følgende Relation:

$$H^0 \cdot \lambda = \text{Konstant.} \qquad (2)$$

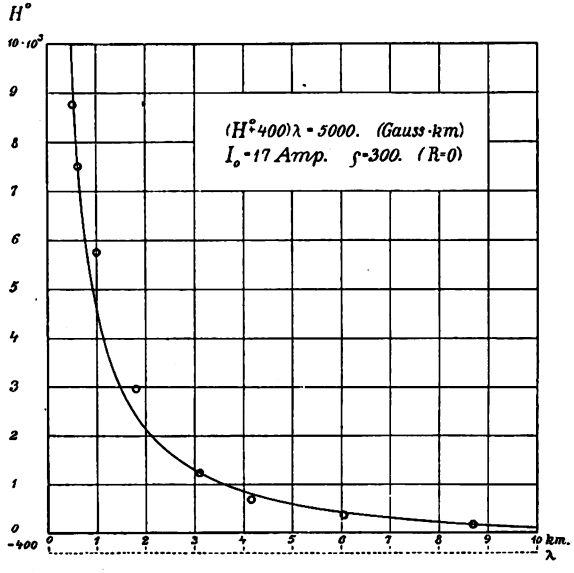


Fig. 11. Relation mellem Bølgelængden (λ) og den fordelagtigste Feltintensitet (H^0).

Fig. 11 viser Resultatet af en Del Maalinger af sammenhørende Værdier af H^0 og λ. Det ligger i Sagens Natur, at Værdien af H^0 ikke kan bestemmes særlig nøjagtig, men, som Figuren viser, ligger de maalte Punkter dog ret nær ved den viste Kurve, hvis Ligning er

$$(H^0 + 400) \cdot \lambda = 500 \text{ (Gauss. km)}. \qquad (3)$$

Den overfor ved (2) bestemte Lov er saaledes ikke helt rigtig; men det var iøvrigt til at forudse, at der til H^0 maatte adderes en Konstant, før Multiplikationen med λ foretoges. Foruden det af Elektromagneten frembragte Felt, der er afsat som Ordinat i Fig. 11, paavirkes Buen nemlig tillige af en Opdrift, fordi dens Temperatur er højere end Omgivelsernes. Dertil kommer, at Buen rent elektrodynamisk vil søge at blive større saaledes som paavist af

Digitized by Google

W. E. Ayrton allerede i 1879[1]). Størrelsen af disse Kræfter er vanskelig at bestemme nøjagtig, men de er dog formentlig saa smaa, at deres Sum er mindre, end hvad der svarer til de 400 Gauss, hvorom det drejer sig. De omtalte Kræfter er jo heller ikke helt af samme Natur som de fra det magnetiske Felt hidrørende. Der er ogsaa den Mulighed, at elektrostatiske Kræfter spiller en Rolle.

Det fremgaar endelig af det følgende, at H^0 vokser med R. Da nu Kredsens egen, effektive Modstand aftager, naar Bølgelængden vokser, saa vil ogsaa dette Forhold bevirke, at den eksperimentale (H^0, λ)-Kurve for store Værdier af λ faar for smaa Værdier af H^0. Alt i alt lader Afvigelserne fra den teoretiske Form for (H^0, λ)-Kurven sig saaledes forklare paa naturlig Maade, og selv om vore Slutninger ikke fuldt ud har bekræftet sig, saa har de dog i Hovedsagen givet den rigtige Sammenhæng mellem H^0 og λ.

2. Indflydelsen af den Buen omgivende Luftarts Vægtfylde paa Værdien af den fordelagtigste Feltintensitet. Det foregaaende gælder, naar Buen befinder sig i Belysningsgas; brænder den derimod i Brint, viser det sig, at den tilsvarende Værdi af H^0 er omkring 5 Gange mindre. Dette stemmer fuldstændig med det foregaaende og det under A. 2 udviklede, idet Gassens Vægtfylde er ca. 5 Gange saa stor som Brintens. De tidligere gjorte Erfaringer, at det navnlig ved de korte Bølgelængder var heldigt at benytte Brint og ikke Belysningsgas eller Spiritusdampe, forklares let herigennem, idet Feltet let bliver for svagt ved korte Bølgelængder, og man staar sig da ved at benytte den lettest mulige Luftart. Ved længere Bølger har det snart vist sig, at Karburering af den benyttede Brint var heldig, snart at ren Brint var at foretrække, uden at det hidtil har været muligt at opdage nogen Lovmæssighed i saa Henseende. Sagen forholder sig simpelthen saaledes: naar Feltet er for svagt, bør man bruge ren Brint, er Feltet derimod for stærkt, staar man sig ved at benytte tungere Kulbrinter, — eller endnu bedre ved at reducere Feltet.

3. H^0's Afhængighed af R og I_0. Det næste Spørgsmaal er, hvorledes det heldigste Felt afhænger af Modstanden i Buekredsen, naar Strømstyrken og alle andre Parametre holdes konstante. Ifølge den fremsatte Teori er den gennemsnitlige Slukke-

[1]) W. E. Ayrton: Electrician. Vol. 2. p. 76. 1879.

Digitized by Google

spænding, som allerede nævnt, proportional med R. Da vi ikke kender Loven for Slukkespændingens Afhængighed af Buens Hastighed, men kun ved, at Spændingen vokser med Hastigheden, saa kan vi ikke deraf slutte os til Relationen mellem H^0 og R. Den simpleste Forudsætning, man rent provisorisk kan gøre, er, at Slukkespændingen vokser proportional med Buens Hastighed; i saa Fald skal H^0 vokse lineært med R. Det fremgaar af Fig. 12, der viser

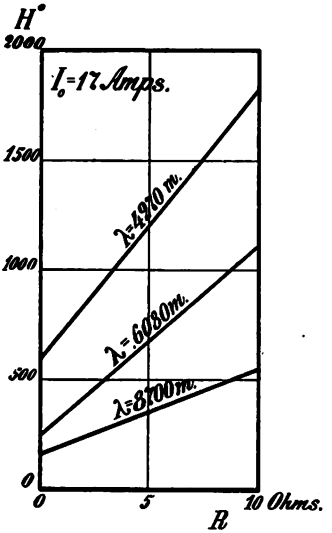


Fig. 12. Den fordelagtigste Feltintensitets (H^0) Afhængighed af Modstanden (R) for forskellige Bølgelængder. ($\varrho = 285$ Ohm).

Resultatet af nogle Maalinger af sammenhørende Værdier af H^0 og R, at H^0 virkelig vokser lineært med R, men at der desuden i Udtrykket for H^0 indgaar et konstant Led. Dette er ogsaa naturligt, da H^0 jo maa have en endelig Værdi, selv om R nærmer sig til at blive Nul, idet R i Fig. 12 kun indbefatter den i Kredsen indsatte Modstand; foruden denne har Kredsen i sig selv en ikke ubetydelig Modstand, der er desto større, jo mindre Bølgelængden er.

Af de samme Forudsætninger følger endvidere, at H^0 skal være proportional med I_0. Det fremgaar af Fig. 13, at dette med Tilnærmelse er Tilfældet. Denne sidste Relation kan dog ikke ventes at holde Stik over større Variationsomraader, idet Strømstyrken ogsaa paa anden Maade har Indflydelse paa Spændingsforløbet ud over

Digitized by Google

den ved Ligning B. 1 (1) angivne. Buens Tværsnit og Kraternes Areal vokser nemlig med Strømstyrken, og det er klart, at den Feltintensitet, der er nødvendig for at frembringe en vis Slukkespænding, alt iøvrigt lige, maa være desto højere, jo større Strømstyrken er. Heraf følger, at H^0 maa vokse noget stærkere end med 1. Potens

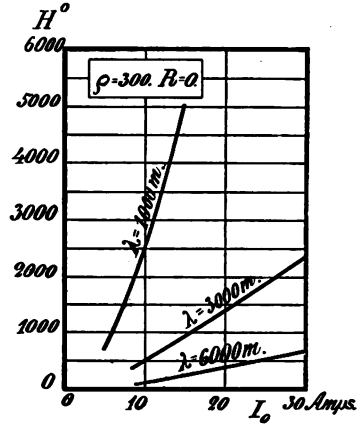


Fig. 13. Den fordelagtigste Feltintensitets (H^0) Afhængighed af Fødestrømmens Styrke (I_0) for forskellig Bølgelængde.

af I_0, hvilket Fig. 13, der fremstiller Resultaterne af en Række Maalinger af sammenhørende Værdier af I_0 og H^0, ogsaa viser at være Tilfældet.

C. Afsluttende Bemærkninger.

De teoretiske Udviklinger i B. har nødvendigvis været af en foreløbig Karakter og nærmest kun bestemte til Orientering med Hensyn til disse ret indviklede og samtidig for Praksis meget vigtige Spørgsmaal. Til Trods for disse Udviklingers simple og overslagsmæssige Karakter viste de paa disse baserede Slutninger sig dog i udstrakt Grad i Overensstemmelse med Erfaringen.

Alle disse Slutninger byggede paa den i en foregaaende Afhandling fremsatte Teori, og paa den i denne Afhandling hævdede Opfattelse af Magnetfeltets Virkemaade, der bl. a. førte til det ved Ligning B.1 (1) givne Udtryk for den gennemsnitlige Slukkespænding; Resultaternes Rigtighed støtter derfor i høj Grad den nævnte Teori, der saaledes helt igennem maa siges at være bekræftet gen-

Digitized by Google

nem de anstillede Undersøgelser. I Modsætning hertil viste den nuværende paa den Simon-Barkhausenske Teori hvilende Opfattelse sig dels i afgjort Modstrid med Forsøgene, dels ude af Stand til at give en i Hovedsagen rigtig, kvalitativ Teori for Poulsen-Buen.

At S.-B.-Teorien har været ganske ude af Stand til at klarlægge Magnetfeltets Indflydelse, ligger bl. a. deri, at denne Teori kun fæster sin Opmærksomhed paa Tændspændingen, der i og for sig er uafhængig af Magnetfeltet. Dette har kun Indflydelse paa Forholdene, medens Buen brænder, og denne Indflydelse, der i det væsentlige skyldes Buens Hastighed, er størst ved Periodens Slutning, altsaa ved Buens Slukning. Det er derfor, at den her og i en foregaaende Afhandling fremsatte Teori, der lægger Hovedvægten paa Slukkespændingen, paa en saa simpel og naturlig Maade formaar at gøre Rede for Magnetfeltets Indflydelse.

Poulsen-Buen er en videre Udvikling af Duddell-Buen, og ligesom Poulsen-Buens Teori har været et meget omstridt Emne, saaledes har ogsaa Duddell-Buen givet Anledning til overmaade mange Arbejder med indbyrdes ret modstridende Resultater. Blandt disse Undersøgelser er der særlig Grund til at fremhæve de af A. Blondel optagne, meget karakteristiske Oscillogrammer af Strøm- og Spændingskurver for den syngende Bue. De omfangsrigeste Bidrag til Spørgsmaalets Behandling skyldes H. Th. Simon og hans Elever, ligesom det noget overflødige Begreb »Lysbuehysteresis« ogsaa er indført af Simon. Det er dog først gennem G. Granqvist's Arbejder[1]), at man er naaet til en virkelig Forstaaelse af Duddell-Buens Virkemaade. Interessant er det at se, at Granqvist i sin Afhandling er inde paa Overvejelser og Tanker, hvis videre Udvikling utvivlsomt vilde have ledet ham til Konstruktionen af en effektiv Højfrekvensgenerator. — Det skete ikke, fordi Poulsens allerede da foreliggende Løsning netop paa dette Tidspunkt blev almindelig bekendt.

Hovedlinierne i den af Granqvist givne Teori for Duddell-Buen falder paa mange Punkter sammen med Grundlinierne i den her givne Teori for Poulsen-Buen, saaledes at Duddell-Buen ogsaa i teoretisk Henseende kan siges at være Poulsen-Buens Forgænger.

København, Februar 1919.

[1]) Se særlig: G. Granqvist: Untersuchungen üben den selbsttönenden Wellenstromlichtbogen. Nova Acta Reg. Soc. Sc. Ups. Ser. IV. Vol. 1. Nr. 5. 1907.

Digitized by Google

Bølgebevægelse og Materialvandring langs Kysten.

Ved en Anmeldelse i »Ingeniøren« af 18. September d. A. er min Opmærksomhed blevet henledet paa en Artikel, som Docent J. Munch-Petersen har offentliggjort i »Fysisk Tidsskrift« XVI, 5. og 6. Hæfte.

Docenten kommer i denne Artikel bl. a. ind paa Forholdene paa Jyllands Vestkyst ogsaa med Henblik paa de forestaaende store Havneanlæg. Docent Munch-Petersen angiver nu sin Kilde for den anvendte Formel, nemlig Havneingeniør Vedel, medens han formentlig har glemt eller overset en Fodnote i Tilknytning til Diskussionen efter mit Foredrag »Anlæg af Havne paa Jyllands Vestkyst« (»Ingeniøren« Nr. 49, d. 20. Juni 1917, pag. 112). Fodnoten lyder:

»[1]) I sin Afhandling »Kystbeskyttelse«, offentliggjort paa Dansk og Tysk efter et Foredrag under den »Baltiske Ingeniørkongres« i Malmø 1914, fremhæver Docent Munch-Petersen som en af de vigtigste og samtidig interessanteste Undersøgelser Bestemmelsen af: »Den materialførende Krafts Retning som Resultant i et Diagram, i hvilket de enkelte Komposanter bestemmes som Produkt af følgende Faktorer for hver Vindretning:

1. Vindens Middelstyrke.
2. Vindens relative Hyppighed.
3. Kvadratroden af Afstanden til den nærmeste Kyst.«

De to af Docenten her under Betegnelsen »Den materialførende Krafts Retning« og det »grafiske Diagram« fremhævede Begreber er identiske med de af Havneingeniør Vedel i 1903 som: »Den resulterende Bølgevirknings Retning« og »Bølgevirkningens Rose« betegnede Begreber (jfr. Ing. Vedels Appendiks til Øhavnekommissionens Betænkning). Ing. Vedel gaar i det nævnte Appendiks ud fra nogle af Stevenson i 1853 og 1874 offentliggjorte Formler, hvoriblandt een, der stiller Bølgehøjden i Relation til Kvadratroden af Afstanden til nærmest dækkende Land i Vindens Retning. Selv om man vil antage, at denne Formel, som ikke indeholder Koefficienter for Bølgelængden, har nogen almindelig Gyldighed, saa ved man, at den ikke har en saadan for større Vindstræk. Øhavnekommissionen angiver

Digitized by Google

et Vindstræk af 300 Sømil som den yderste Grænse for Formlens Gyldighed, og Ing. Vedel er saaledes selv klar over sine Metoders Uanvendelighed paa Vestkysten. Docent Munch-Petersen overfører Ing. Vedels Metoder paa Vestkysten og bruger i sin ovennævnte Afhandling bl. a. Bovbjerg som et Eksempel. Docenten angiver selv Afstanden fra Jyllands Vestkyst til England til ca. 800 km = ca. 555 Sømil. Paa Grund af Cyklonernes Kredsform kan man i øvrigt som Regel ikke maale direkte ud i Vindens Retning, hvor Afstanden til nærmest dækkende Land i denne Retning er 100 Sømil eller derover. *F.*«

Man maa saaledes gaa ud fra, at den benyttede Formel paa Vestkysten ikke har Gyldighed for Paavirkningens Styrke og ej heller for dens Retning.

Docenten gaar nu ikke destomindre i sin Artikel saa vidt, at han skriver:

»Under Hensyn hertil kan man utvivlsomt i Formlen for den materialførende Kraft uden at regne for rigeligt benytte Afstanden op til Island og Jan Mayen.«

Docenten overskrider i en ganske forbløffende Grad her det Maksimum af Vindtrækket, som betinger Formlens iøvrigt tvivlsomme Anvendelighed, og da Docenten maaler Vindstrækket i lige Flugt, maa det med Hensyn til Jan Mayen antages, at Docenten har ladet sig desorientere af et almindelig Atlas, da Benyttelsen af et Søkort eller en Globus vilde have vist, at Bølgerne for at naa Hanstholm fra Jan Mayen maatte passere gennem det sydlige Norges mægtige Fjælde i en Afstand fra Kysten af over 100 Kilometer. Fra Island kan — under samme Forudsætning — en Atlanterhavsbølge ikke naa frem, saaledes at man kan bringe nogen af Stevensons — i Fodnoten citerede — Formler til Anvendelse; for den ene Formels Vedkommende fordi Maksimum af det betingede Vindstræk (ca. 300 Sømil) overskrides, og for den andens (som angiver den Bølgedæmpning, som fremkommer — efter at en Bølge har passeret en Havnemunding eller et Stræde — paa et Sted inden for Mundingen eller Strædet), fordi denne Formel ikke har Gyldighed for større Lokaliteter.

Man har ved Maalinger bevist, at sidstnævnte Formel end ikke gælder for større Havne som Madras Havn, og følgelig kan det ikke

Digitized by Google

antages, at den gælder for Bølger, der fra Atlanterhavet passerer Mellemrummene imellem de skotske Øer og Skær for derefter at brede sig i Nordsøen.*)

En nærmere Vurdering af de i Docentens Artikel for 22 Punkter paa Jyllands Vestkyst angivne Diagrammer er herefter næppe nødvendig.

Efter en Omtale af Cornaglias Teorier skriver Docenten:

> »Gennemsnitsfaldet er imidlertid henholdsvis 1 : 70 og 1 : 40 ved Hirtshals og Hanstholm og kan da kun for Hanstholms Vedkommende — og det knebent nok — med Rette kaldes en Stejlkyst.«**)

En »Stejlkyst« er ikke en saadan, hvor Kystens Hældning for den umiddelbare Betragtning synes stejl, men en saadan, hvor den til Kystlokaliteten tilførte Materialmængde — under Hensyn til de paa Stedet optrædende Naturkræfter — giver et Underskud i Relation til den Mængde, der af Naturkræfterne kan drages i Dybet. Ved Helshagepynten (Hanstholm) er der intet »Kniberi« (jfr. Fiskerihavnekommissionens Betænkning). I Modsætning hertil vil Kysten ud for Skagens Nakke umiddelbart — og i hvert Fald sammenlignet med de allerfleste Steder paa Vestkysten — oftest synes stejl, men her er der dog et Overskud eller en Ligevægt, uanset at det Materiale, der i Dag danner Bunden, mulig i Morgen ligger andetsteds, saaledes at man maaske nok kan sige, at man her har en stejl Kyst, men ikke i dette Ords tekniske eller fysiske Forstand en »Stejlkyst«.

Ved Hirtshals er Forholdene ret sammensatte, fordi Undervandsrevet Bredegrund spiller en stor Rolle, saaledes at man f. Eks. ud for Fyrbakken fra 30 til 50 Fods Kurven har Fald af indtil 1 : 30, medens man har fladere Skraaning paa begge Sider af denne Skrænt, men Bunden er dog ikke her dækket af Sand.

---

*) Det Vinkelgab, der fra Hanstholmen viser klar af Shetlandsøerne og Norge er højst 4°, og Vinkelgabet mellem Orknyøerne og Shetlandsøerne endda kun c. 6°, hvis man ser bort fra Fair Isle, der ligger omtrent midt mellem Øgrupperne.

**) At Docenten, naar Talen er om Hantsholm, opfatter Begrebet »Stejlkyst« paa denne Maade, staar i mærkelig Modstrid med hans tidligere i Afhandlingen fremsatte rigtige Forstaaelse af dette Begreb.

Digitized by Google

Naar Docenten ensidigt angiver Faldet som et Gennemsnitsfald af 1 : 70, beror det maaske paa, at han kun har undersøgt Forholdene omkring Molen (lidt Øst for Pynten), eller paa, at Bredegrund er overset.

I en Afhandling (XI. Schiffahrtskongress St. Petersburg 1908) skriver Lo Gatto:

»In Italien unterscheidet man Kösten mit schwacher und solche mit starker Neigung, je nachdem der Meeresgrund geringeres oder grösseres Gefälle besitzt.

Dem entsprechend bezeichnet man als flache Küsten die von Ferrara, Neigung des Meeresgrundes 1 : 270 bis 1 : 500; von Ravenna, Neigung des Meeresgrundes 1 : 240 bis 1 : 650; von Pisa, Neigung 1 : 100 bis 1 : 280; wärend man als Steilküsten diejenigen von Ancona beim Mont Conero, Neigung 1 : 10; bei Chiavari Neigung 1 : 40; bei Cornigliano, Neigung 1 : 15; bei Pegli 1 : 40 u. s. w. bezeichnet.«

Det her angivne Fald af 1 : 40 kan hverken fortolkes som Grænse for hvad Lo Gatto opfatter som en »Stejlkyst«, eller for hvad der i al Almindelighed maa forstaas derved. Lo Gatto's Exempler er hentede fra Adriaterhavet og Middelhavet, og refererer nærmest til Klippekyst, hvor alle vandrende Partikler, herunder baade Sand og Grus (Ral), drages i Dybet.

De flade Partier ud for Ferrara og Ravenna skyldes umaadelige Materialmængder tilførte af Po-Floden, ligesom Arno-Floden ved Pisa spiller en Rolle, der ikke har Lighedspunkter paa Vestkysten.

Efter mit Kendskab til Literaturen mener jeg næppe at tage fejl ved at formode, at den ovennævnte Passus af Lo Gatto er Docentens Kilde.

Til Slut skal jeg kun bemærke, at Ophavsmanden til Teorien om den neutrale Linie, og hvad hermed staar i Forbindelse, hedder »Cornaglia« og ikke — som af Docenten konsekvent angivet — »Carnaglio«.

Kjøbenhavn i December 1918.

J. Fibiger.

Digitized by Google

E. B. Jerichau.

En dansk Fysiker.

Af

Helge Holst.

I Polyteknisk Læreanstalts fysiske Samling findes et gammelt Apparat til Maaling af Varmeudvidelsen ved Forskydning af Newton'ske Ringe. Apparatet er konstrueret af en dansk Mand, Ernst Bernhard Jerichau, henved et kvart Aarhundrede, før Fizeau beskrev sin paa samme Princip grundede Metode. Da denne Mand vistnok er ganske ukendt for de fleste nulevende Fysikere, og hans Navn dog fortjener at bevares for Glemsel, skal der i det følgende gives nogle Oplysninger om ham.

Jerichau er født 1797 i Assens, hvor hans Fader var Købmand. Han blev først sat til Handelen, men havde aabenbart vanskeligt ved at finde sin Plads i Livet. Da han tidlig viste Interesse for Fysik og Mekanik, blev han sendt til København og sat i Lære i Professor Smiths mekaniske Etablissement. Det blev han dog hurtigt ked af, og han slog saa ind paa den juridiske Vej. Efter at være blevet exam. jur., var han i nogle Aar Fuldmægtig hos Byfogeden i Assens. I denne Tid begyndte han at studere Musikteori og udførte Forsøg over Toner. Overhofmarskal A. W. Hauch, der hørte om hans Arbejde, fik Interesse for Sagen, og med Støtte af ham udførte Jerichau i København en Række Forsøg med Orgelpiber. En Afhandling om Tonernes gensidige Virkninger, som han indleverede til Videnskabernes Selskab, belønnedes med Selskabets Sølvmedalje (1825). Dette gav Anledning til, at han søgte videre Uddannelse og 1826 tog Studentereksamen; men Juraen og Naturvidenskaben kæmpede stadig om ham — med det Resultat, at han dyrkede dem begge. I 1829 kom han ind paa Polyteknisk Læreanstalt; i 1830 blev han juridisk Kandidat og i 1833 polyteknisk Kandidat (Mekaniker). I erhvervsmæssig Henseende synes han ikke at have drevet det videre end til at blive Volontær i Rentekammerets Vejekontor.

Han arbejdede imidlertid stadig med fysiske Problemer. I 1834 fik han Universitetets Guldmedalje for en Afhandling om Virkningen af porøse Vægge. I denne Afhandling, der senere kom frem

Digitized by Google

i Poggendorffs Annalen (Bd. XXXIV, 1835), beretter han om visse Forsøg over Diffusion, dels gennem Mellemrummet mellem en Kviksølvdraabe og Væggen af et omsluttende Glasrør, dels gennem Blærer. I »Videnskabernes Selskabs naturvidenskabelige og mathematiske Afhandlinger«, 1836, har han udviklet, hvorledes man kan gøre Kviksølvbarometre selvkompenserende over for Temperaturændringer, idet man ved Afpasning af Rumforholdene i de forskellige Partier af Glasset opnaar, at den Stigning af den øvre Kviksølvoverflade, en Varmeudvidelse af Kviksølvet vilde frembringe, kompenseres af den modsatte Virkning af Glassets Udvidelse. Et Barometer, han konstruerede efter de fundne Regler, gav særdeles god Kompensation. I Videnskabernes Selskabs Beretning fra 1840 omtales nogle Forsøg af Jerichau over mekanisk Resonnans. Han ophængte et Lommeur saaledes, at det i Uroens Svingningsplan kunde udføre enten almindelige Pendulsvingninger eller Snoningssvingninger, og viste, at Uret selv bragte saadanne Svingninger i Stand, naar deres Periode var omtrent den samme som Uroens. Sammesteds omtales hans Apparat til Maaling af Varmeudvidelsen, for hvilket han fik tilkendt Selskabets Guldmedalje.

I dette Apparat er der ovenpaa en 4 cm lang Zinkstang anbragt et lille Konveksglas og over dette en plansleben Glasplade, der ikke berører Konveksglasset. De i Glassenes Mellemrum dannede Newton'ske Ringe betragtes med et lille Serør, drejeligt paa en Gradbue. Naar man nu indstillede Røret paa et let kendeligt Farveparti (f. Eks. Rødt af tredje Orden) før og efter en Opvarmning, kunde man af Rørets Drejning beregne, hvor meget Konveksglasset havde nærmet sig til det plane Glas. Apparatet kunde bruges som en Slags Termometer til Paavisning af meget smaa Opvarmninger, men frembød ogsaa Muligheder for Maaling af Varmeudvidelse — bl. a. af Smaalegemer som Krystaller. En nærmere Beskrivelse af Metoden findes i »Forhandlinger ved de skandinaviske Naturforskeres andet Møde (1840) og i Poggendorffs Annalen Bd. LIV 1841.« Da J.'s Idé saaledes er blevet kendt ogsaa i Udlandet, er det muligt, at Fizeau har den fra ham; men det maa erkendes, at Tanken ikke er saa fjerntliggende, at der er stærke Grunde for en saadan Antagelse. Jerichau udførte ikke selv Maalinger af videnskabelig Betydning med sit Apparat.

Muligvis har han haft i Sinde at tage dette Arbejde op, men

Digitized by Google

allerede i Aaret 1841 blev hans Løbebane afbrudt, idet han i dette Aar afgik ved Døden i Paris, hvor han opholdt sig paa Studierejse.

En Overlevering inden for hans Slægt fortæller, at han inden sin Død havde konstrueret en elektromagnetisk Telegraf, men om dette har noget paa sig, kan nu næppe oplyses. I det hele taget foreligger der kun meget sparsomme Oplysninger om ham (de fyldigste i Erslews Forfatterleksikon).

Et elementært Bevis for Ampère's Sætning.

Af

E. S. Johansen.

Ampère's Sætning udsiger som bekendt, at en sluttet Strøms magnetiske Felt vil være lig med det ydre Felt om en magnetisk Plade. der har Strømlederen til Randkurve og et Moment pr. Fladeenhed lig Strømstyrken i elektromagnetisk Maal. Et Bevis for denne Sætning skal her forstaas som et Bevis for, at den følger af Biot og Savart's Lov. Beviset føres ved først at vise Sætningens Gyldighed for en Elementarstrømkreds i første og anden magnetiske Hovedstilling og derefter at vise, at enhver Strømkreds kan deles op i saadanne Elementarkredse.

Vi betragter en lille Strømkreds af Form som en Trekant (Fig. 1) og søger den magnetiske Kraft i et Punkt P i en Linje, der gaar vinkelret ud fra Trekantens Plan i Punktet O. Trekantens Sider l_1, l_2, l_3 forudsættes meget smaa i Forhold til Punktet P's Afstand r fra dem. De tre Sider med Strømmen i i Pilenes Retning giver da ifølge Biot og Savart's Lov henholdsvis Kræfterne $\frac{l_1 i}{r^2}$, $\frac{l_2 i}{r^2}$ og $\frac{l_3 i}{r^2}$, der danner de meget smaa Vinkler $\frac{d_1}{r}$, $\frac{d_2}{r}$ og $\frac{d_3}{r}$ (i Buemaal) med Trekantens Plan, idet d_1, d_2, d_3 er Punktet O's Afstande fra de tre Sider. For at finde disse Kræfters Resultant projicerer vi dem først paa en Plan parallel med Trekanten. Da Projektionsvinklerne er de anførte smaa Vinkler, bliver Projektionerne (de punkterede Linjer) paa smaa Størrelser af anden Orden i $\frac{d}{r}$ nær lig selve Kræfterne, og da disse er proportionale

Digitized by Google

med og vinkelrette paa de paagældende Sider, bliver Kraftpolygonen ligedannet med Trekanten og altsaa lukket, Resultanten af Projektionerne bliver Nul. Kræfternes Resultant maa derfor gaa i Retningen OP. Projiceres ind paa denne Linje faas Resultanten lig

$$\frac{l_1 i}{r^2}\cdot\frac{d_1}{r}+\frac{l_2 i}{r^2}\cdot\frac{d_2}{r}+\frac{l_3 i}{r^2}\cdot\frac{d_3}{r},$$

som ses at være $\frac{i}{r^3}$ gange det dobbelte af Trekantens Areal. Men den samme Kraft vilde en magnetisk Plade med Moment i gange Trekantens Areal frembringe, idet den vilde være i første Hovedstilling i Forhold til Punktet P.

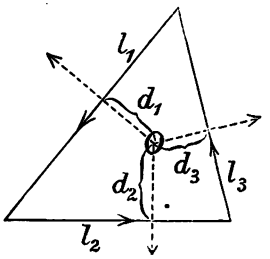


Fig. 1.

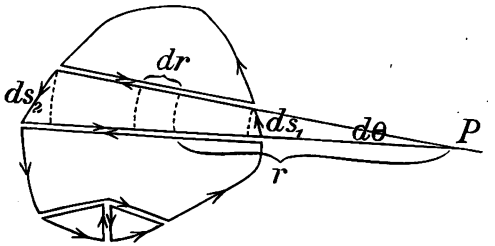


Fig. 2.

Vi betragter dernæst en plan Strømkreds (Fig. 2) og søger den magnetiske Kraft i et Punkt P i dennes Plan. Strømelementerne ds_1 og ds_2 giver tilsammen en Kraft vinkelret indad i Planen lig

$$\frac{ir_1 d\theta}{r_1^2}-\frac{ir_2 d\theta}{r_2^2}=id\theta\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right).$$

Et Element $rd\theta dr$ af den magnetiske Plade $ABCD$ vilde frembringe Kraften $\frac{ird\theta dr}{r^3}=\frac{id\theta dr}{r^2}$, da det befinder sig i anden Hovedstilling. Hele Strimlen $ABCD$ vilde give

$$\int_{r_1}^{r_2}\frac{id\theta dr}{r^2}=id\theta\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right),$$

altsaa samme Kraft som de to Strømelementer.

Vi betragter endelig en vilkaarlig Strømkreds. Fra det Punkt P, hvor Kraften søges, trækkes Synsstraalerne til Strømkurven.

Digitized by Google

Toppen af den Kegleflade, som derved fremkommer, afskæres ved en Kugleflade omkring P, og vi faar derved dannet en sammenhængende Flade med Strømkredsen som Randkurve, sammensat dels af Keglefladen og dels af den afskaarne Del af Kuglefladen. Opløser vi nu den oprindelige Strømkreds --- ved Tilføjelse af ligestore og modsat rettede Strømme (se Fig. 2) — i Elementarstrømkredse, der ligger i denne Flade, saa vil Kredsene i Kuglen og Keglen henholdsvis falde ind under første og andet af de ovenfor behandlede Tilfælde. Følgelig kan vi erstatte Strømkredsen med en magnetisk Plade af den beskrevne Flades Form. Men ifølge en bekendt Sætning har alle magnetiske Plader med samme Randkurve og samme Moment pr. Fladeenhed samme Magnetfelt. Hermed er da Beviset ført for, at en vilkaarlig formet magnetisk Plade med Strømmen til Randkurve og Momentet i pr. Fladeenhed vil give samme Magnetfelt som Strømmen i.

Fysik i Skolen.

Et Par kemiske Skoleforsøg.

Af Poul Jørgensen.

Jeg kunde tænke mig, at nedenstaaende Demonstrationsforsøg kunde interessere nogle af Tidsskriftets Læsere. Saa vidt mig bekendt er disse eller tilsvarende Forsøg ikke angivet i nogle af de danske Lærebøger; men jeg synes, de bør kendes, dels fordi de i den praktiske Kemi er af fundamental Betydning, dels fordi de hertil nødvendige Apparater er billige og nemme at sætte sammen, og dels fordi selve Forsøget er særdeles let at gennemføre.

Fremstilling af Salpetersyre af Luften (Fig. 1).

Dette kan gøres ved Hjælp af en alm. Buelampe med vandrette Kul. Har man ikke en saadan, sammenstilles den let af 2 Forsøgsstativer, idet man anbringer Kulstykkerne i hver sin Prop i hver sin Klemme. Tilledningstraaden kan snos direkte om Kullet. Ovenover Buen anbringes en helst stor Tragt i en saadan Afstand, at

Digitized by Google

Varmen fra Buen ikke kan genere den; fra denne gaar Ledning ved Hjælp af Glasrør og Gummislanger gennem en Vadskeflaske med en Diphenylaminopløsning (1 g Diphenylamin + 100 cm^3 ren konc.

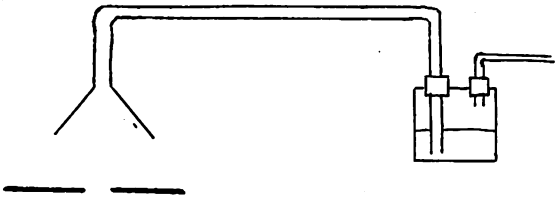


Fig. 1.

H_2SO_4 + 20 cm^3 Vand) og videre til en Sugepumpe (f. Eks. en Vandluftpumpe). Derved suges den varme Luft fra Buen gennem Diphenylaminen. Denne bliver forbavsende hurtigt (i Løbet af ca. 5 Min.) tydelig blaa af Salpetersyre.

Fremstilling af Svovlsyre. a. Blykammermetoden. (Fig. 2).

Som Blykammer anvendes en stor Glasflaske (f. Ex. en wulfisk Flaske paa 4 l med 3 Halse og Tubus forneden). I alle Halsene og

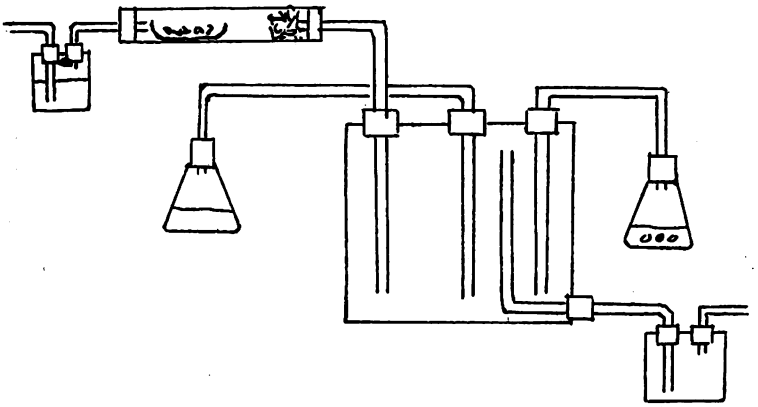


Fig. 2.

i Tubus sættes Propper (Gummipropper er selvfølgelig bedst, men ikke nødvendige, blot de tættes godt). Gennem den ene føres et Rør fra en Kogeflaske med alm. destilleret Vand, der holdes i Kog. Gennem

Digitized by Google

den anden føres et Rør fra en anden Kogeflaske med Kobber og Salpetersyre (1 Del konc. HNO_3 + 1 Del Vand), der opvarmes svagt. Gennem den tredje føres et Rør fra et tungtsmelteligt Rør, hvori findes en Porcelænsbaad med Svovl, og hvorigennem føres en tør Luftstrøm fra en Vandstraaleblæser eller Kautschuk-Blæser. Opvarmes Svovlet, brænder dette, og der dannes altsaa Svovldioxyd. I det tungtsmeltelige Rør anbringes en Vatprop til at opsuge det sublimerede Svovl, der ellers vil tilstoppe Rørene. Ind i »Blykammeret« føres altsaa Vanddamp, Kvælstofdioxyd og Svovldioxyd og her dannes altsaa Svovlsyre. Denne paavises lettest ved fra Tubus for neden at føre Ledning (af Glasrør og Gummislange) gennem en Vadskeflaske med Bariumkloridopløsning. Herfra føres bedst Ledning til Stinkskab eller ud af Vinduet. Bariumklorid plumres næsten øjeblikkelig, og det eneste, man har at passe, er ikke at opvarme Svovlet for stærkt, hvorved Sublimationen bliver for stærk. Naar Svovlet tænder, kan man godt fjærne den Lampe, Opvarmningen er foretaget med.

b. Kontaktmetoden. (Fig. 3).

En Luftstrøm (f. Ex. fra en Vandstraaleblæser*) eller en Kautschuk-Blæser) tørres ved at ledes gennem konc. Svovlsyre. Derefter

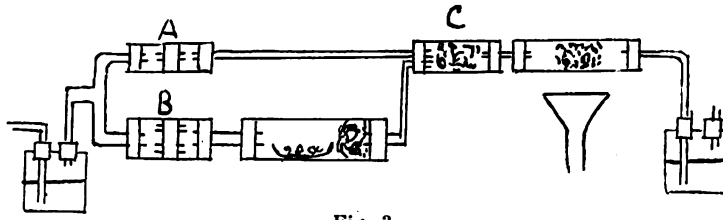


Fig. 3.

deles den ved et T-Rør i 2 og gaar hen til 2 Glasrør *A* og *B* (f. Ex. 10 cm lang, 2 cm i Diam.). Inde i disse sidder Gummipropper, i *A* forsynet med 1 Hul med Glasrør, i *B* med 2 Huller med Glasrør; disse 3 Glasrør er af samme Dimension. Derved opnaas, at der passerer dobbelt saa meget Ilt gennem *B* som gennem *A*. Fra *B* gaar

*) Ang. Vandstraaleblæser henvises til Struers Katalog Nr. 1983 og 1984. »Centralstedet for fysisk Undervisningsmateriel« (Bjelkes Allé 41 St. L) paatager sig Levering af de til disse Forsøg nødvendige Ting, samlet eller delt.

Digitized by Google

Ledning til et tungtsmelteligt Rør med Porcelænsbaad (til Svovl) og Vatprop (s. o.). De 2 Ledninger forenes i Røret *C*, hvori der for yderligere Rensning af Luften er Vat. Videre gaar Luftblandingen, der altsaa som Forsøget er stillet op skulde være $2\,SO_2 + O_2$, ind i et Kvartsrør (tungtsmelteligt Rør kan anvendes, men Kvarts tilraades) med 1 à 2 gr Platinasbest, der glødes. Herfra gaar Ledningen ned i en Opløsning af Bariumklorid, der i Løbet af c. 5 Min. plumres tydeligt. Om Svovlbrændingen gælder det samme som sagt i foregaaende Forsøg.

Det gælder naturligvis baade i a og b om at alle Forbindelserne er tætte, hvilket jo nemmest opnaas ved Brug af Gummipropper og saa lidt Slange og saa meget Glasrør som muligt. Og en stor Lettelse er det naturligvis, om man lader Apparaterne være samlede fra det ene Aar til det andet. Det tager jo nogen Tid at skære Glasrør til og samle dem. Det hele kan bæres af almindelige Forsøgsstativer.

Anmeldelser.

F. A. Schultze: Grosse Physiker. Zweite Auflage. (Aus Natur und Geisteswelt, Bd. 324). B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1917. 115 Sider. M. 1,50.

I 1. Udgave af Prof. Schulzes Bog, der udkom 1910 med Titel: Die grossen Physiker und ihre Leistungen, var behandlet de 5 Fysikere: Galilei, Newton, Huygens, Faraday og Helmholtz. I denne nye Udgave er medtaget Helmholtz's unge begavede Elev Heinrich Hertz, der døde Nytaarsdag 1894, kun 37 Aar gammel. At Hertz er kommen med i den nye Udgave, er meget naturligt, idet hans Arbejder slutter sig til de andre Forskeres.

Der er i Fremstillingen af de 6 Fysikeres Liv og Virksomhed lagt mindre Vægt paa at give en udførlig Fremstilling af deres Livsførelse end at give en Oversigt over deres Indsats i Videnskaben. Dette sidste er gjort paa en saadan Maade, at der for Forstaaelsen ikke kræves større Forudsætninger, end at Læsere med rent elementære Kundskaber i Fysik kan følge Fremstillingen. Der er saaledes overalt undgaaet Anvendelse af Matematik.

Digitized by Google

Bogen har Interesse for Fysiklærere. Vi savner paa Dansk lignende smaa Biografier af Videnskabsdyrkere. Men kedeligt er det for en dansk Fysiklærer af Prof. Schulzes Bog at faa at vide (Side 71) — at Faradays Opdagelse af Induktionsstrømmen i Modsætning til Ørsteds af Elektromagnetismen — som man kan takke en tilfældig Opdagelse for — er historisk interessant, fordi den er Resultatet af maalbevidste Forsøg! — I den nye Udgave faar Forfatteren under Omtalen af Hertz endda Lejlighed til endnu en Gang at pointere, at Ørsteds Opdagelse var ganske tilfældig og uden nogen egentlig historisk Interesse. — Det støder et dansk Øje at se dette. — Var mon dog ikke Ørsteds Opdagelse Resultatet af et maalbevidst Arbejde? — Og var Ørsteds Opgave ikke sværere end Faradays? Ørsted stod overfor en Mulighed — som endda Franklin et halvt Aarhundrede forinden ikke blot betvivlede, men endogsaa mente at have modbevist. Faraday vidste i Forvejen, at det, han søgte efter i sine Forsøg, teoretisk kunde slaas fast.

Fremstillingen er ikke alle Vegne korrekt. Det er ikke rigtigt, naar der Side 64 fortælles, at Faraday 1810 og 1811 hørte en Række Forelæsninger over Naturfilosofi af Kemikeren Davy. Det var ikke Davy, men en Mand ved Navn Tatum, der holdt de omtalte Foredrag. Heller ikke havde Faraday paa dette Tidspunkt nogen særlig slem Mester. Riebau, hos hvem han da var Bogbindersvend, var jo netop en Mand, der havde megen Forstaaelse af Faradays Interesse for Læsning af naturvidenskabelige Værker. Det var først 1812, at Faraday fik Lejlighed til at høre 3—4 af en Række Forelæsninger, som den berømte Kemiker Davy holdt i Royal Institution. Det var Referatet af disse Forelæsninger forsynet med Tegninger, han sendte til Davy med Bøn om at blive taget i hans Tjeneste. Paa dette Tidspunkt havde han faaet en ny Mester de la Roche, der maaske nok var noget af en »rauhen heftigen Meister«.

Naar der Side 66 staar, at Faraday, efter at han er bleven gift med sin Sarah, faar Lov til at tage Bolig i Royal Society, er dette heller ikke rigtigt. Det var selvfølgelig i sin Tjenestebolig i Royal Institution, han fik Lov til at drage ind med sin unge Hustru.

Bogen er forsynet med Billeder af de omtalte Fysikere og en Literaturoversigt.

L. P. Lauritsen.

Digitized by Google

Studier over brøggerit, et radioaktivt mineral, og en bestemmelse af dets alder.

Af

docent, Dr. Ellen Gleditsch.

For at kunne gi en oversigt over de arbeider hvormed jeg har været beskjæftiget i de sidste aar, er det nødvendig i al korthed at gjøre rede for endel af de radioaktive stoffers eiendommeligheder. Disse stoffers mange merkværdige og til en begyndelse overraskende egenskaber knyttes sammen paa en følgerigtig maade og finder en enkel forklaring, naar man bygger paa Rutherfords transformationstheorie. Denne har i de senere aar faat saa mange eksperimentelle bekræftelser, at de som har kunnet følge radioaktivitetens udvikling i denne samme tid, alle betragter den som helt bevist. Her kan imidlertid ikke være tale om at føre beviser i marken for den, jeg vil bare nævne dens vigtigste punkter og siden bygge paa dem.

De radioaktive grundstoffer skiller sig fra alle andre grundstoffer derved at de undergaar forandringer, gjennemgribende forandringer som fører til at de selv forsvinder og nye opstaar. Disse forandringer ledsages af en ejendommelig straaling hvis intensitet kan maales, og ved hvis hjælp man derfor blir istand til at følge grundstoffets omdannelse. Radium f. ex. er et grundstof, et metal af jordalkalimetallernes gruppe. Fra radium dannes der kontinuerlig, uden at noget fremmed legeme kommer til, uden at nogen ydre indflydelse gjør sig gjældende, et nyt grundstof, radiumemanationen. Denne er gasformet og følger de samme love som almindelige gasarter; men samtidig afgir den eiendommelige straaler. Dens straalingsevne saavel som dens mængde, dens volum, a f t a r imidlertid med en ganske bestemt hastighed; den forsvinder altsaa; men samtidig afsætter den

Digitized by Google

paa væggene i det kar hvori den opbevares, et nyt, ligeledes radioaktivt grundstof, som er et metal, og som vi kalder radium *A*.

Alle disse stoffer gir sig tilkjende ved sin straaling; de udsender straaler som enten skyldes en emission af elektrisk ladede smaapartikler, α- og β-straalerne, eller en bølgebevægelse i æteren, γ-straalerne.

Vi vil nu med Rutherford gaa ud fra at disse forandringer skyldes omdannelser i selve atomerne hos de angjældende stoffer. Atomet hos et radioaktivt grundstof er ikke stabilt og uforanderligt; det vil før eller senere af grunde som vi ikke kjender, komme ud af ligevegt, og det vil sprænges, pludselig og eksplosionsartet. Dele af atomets masse vil herunder kastes ud i form af α og β partikler. Det nye atom er i mange tilfælde ogsaa instabilt, det sprænges i sin tur under dannelse af et tredie, og saaledes kan der fremkomme en serie af forskjellige atomer, som hvert representerer et nyt grundstof. Man faar herved en serie grundstoffer, som alle er dannet fra et modergrundstof, idet dette trinvis afbygges.

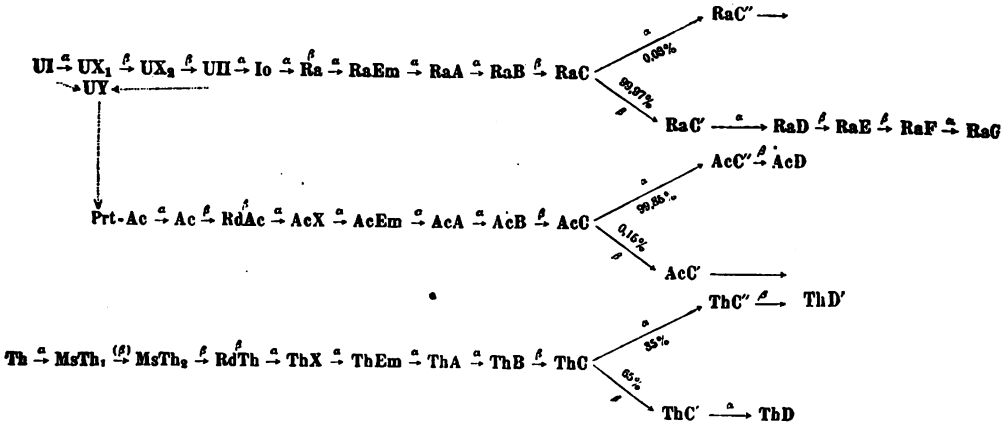

UI α→ UX1 β→ UX2 β→ UII α→ Io α→ Ra α→ RaEm α→ RaA α→ RaB β→ RaC
UY
RaC'' →
0,03%
99,97%
RaC' α→ RaD β→ RaE β→ RaF α→ RaG
Prt-Ac α→ Ac β→ RdAc α→ AcX α→ AcEm α→ AcA α→ AcB β→ AcC
AcC'' β→ AcD
99,84%
0,16%
AcC' →
Th α→ MsTh1 (β)→ MsTh2 β→ RdTh α→ ThX α→ ThEm α→ ThA α→ ThB β→ ThC
ThC'' β→ ThD'
35%
65%
ThC' α→ ThD

Planche 1.

Denne afbygning af grundstofferne fremgaar med ganske stor tydelighed af planche 1, som samtidig viser hvor stort antallet af radioaktive grundstoffer er. Der findes som man ser, tre serier, afledet den ene fra uran, den anden fra thorium, den tredie fra aktinium. Aktinium og hele dens række maa imidlertid vistnok afledes

Digitized by Google

fra uran, men forbindelsen mellem dem er ikke sikkert kjendt. For de allerfleste af disse grundstoffer kan vi angi visse kemiske og fysiske egenskaber, for dem alle kan vi angi deres straalingsegenskaber. Sikrest og bedst karakteriseres hvert enkelt af dem ved den hastighed, hvormed dets straaling aftar, eller altsaa den hastighed, hvormed dets atomer omdannes eller transformeres. Det har vist sig at omdannelsen altid foregaar efter den samme lov, uanset hvilken substans der foreligger. Betegner N_0 det oprindelige antal atomer, vil der efter en hengaaet tid, t, findes uforandret N_t atomer; og man kan vise at

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

hvor e er grundtallet i det naturlige logarithmesystem og λ er hastighedscoefficienten. Denne lov gjælder som før nævnt, for alle de radioaktive stoffer, men λ faar for hver bestemte substans sin bestemte værdi. Ved Differentiering faaes:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

og man ser, at λ faar en bestemt fysisk betydning; den angir den brøkdel af atomerne som omdannes i tidsenheden. Kjender man λ for en bestemt substans kan man let beregne den tid i hvilken halvdelen af denne omsættes, eller det man kalder substansens p e r i o d e og betegner med T. For de forskjellige radioaktive stoffer har denne en yderst vekslende værdi, exempelvis kan det nævnes at den for urans vedkommende er omtrent 5 milliarder aar, for radium er den 1700 aar, for radiumemanationen omtrent 4 dage og for radium C kun nogle brøkdele af et sekund. De forskjellige stoffer faar altsaa en høist forskjellig levetid, uran maa vi betegne som meget langtlevende, radium har en lang levetid maalt med menneskelivets længde, men kort sammenlignet med jordens alder, radium C igjen er saa kortlevende at det vil være forbundet med store vanskeligheder at studere dens egenskaber. Men det merkværdigste ved disse konstanter, ved radioaktivitetskonstanten λ og ved perioden T, det er, at de for den enkelte aktive substans har en absolut konstant værdi. De paavirkes ikke af nogensomhelst ydre indflydelse; temperatur og trykforandringer, elektriske og magnetiske felter, kemiske kræfter,

Digitized by Google

ingen af disse agenser øver den mindste indflydelse paa den hastighed, hvormed radiumemanationen f. ex. taber sin straaleevne og gaar over til radium *A*. Vi har lært processer at kende som vi absolut ikke kan indvirke paa.

Ved at se lidt paa planche 1 blir man opmerksom paa en eiendommelighed som indtræder ved radium *C*, respektive thorium *C* og actinium *C*. Ved de andre transformationer opstaar der altid kun et nyt grundstof — den hele mængde radium *A* gir radium *B* o. s. v.; men radium *C* gir to nye grundstoffer radium *C'* og radium *C''*, idet det i første Tilfælde afgir β partikler, i andet α partikler. Dette maa forstaas saaledes at endel atomer af radium *C* undergaar den ene, resten den anden transformation. Som det fremgaar af planchen er det kun de 0.03 % af radium *C* atomerne som omdannes til radium *C''*; den gren og de videre transformationsprodukter i den faar derfor praktisk seet meget liden betydning. Anderledes blir det i thoriumserien, hvor fordelingen paa de to grene er mere ligelig.

Ved enkle kemiske operationer kan man ofte isolere et led i en saadan serie af aktive stoffer og faa det rent, befriet saavel for de tidligere som de efterfølgende led i serien. Radium fremstilles saaledes forholdsvis let i ren tilstand; men det er klart at det kun er et tidsspørgsmaal, hvorlænge det kan regnes for rent, for saasnart det er isoleret, begynder dannelsen af emanation, og emanationsmængden i præparatet øger følgelig. Imidlertid vil emanationen ogsaa omdannes videre, og derfor kan den ikke samles op i ubegrænsede mængder. Dens dannelse af radium og dens transformation til videre produkter, vil bli to modsat rettede processer, og efter nogen tid vil der indtræde en ligevegtstilstand. Der vil da i tidsenheden destrueres lige mange emanationsatomer som der dannes, og man siger at emanationen er i radioaktiv ligevegt med radium. Betegner N antal atomer, λ aktivitetskonstanterne, saa er $N_{Ra}\,\lambda_{Ra}$ det antal radiumatomer som destrueres i tidsenheden; det betegner da ogsaa det antal emanationsatomer som dannes. I ligevegtstilstanden er nu efter hvad vi hørte, antallet af dannede emanationsatomer lig antallet af destruerte, og følgelig er:

$$N_{Ra}\lambda_{Ra} = N_{Em}\lambda_{Em}.$$

Hvad der her er sagt for radium og emanationen, gjælder alle led i en genetisk række, om de følger hinanden direkte eller skilles

Digitized by Google

af mange mellemled. Den tid som vil hengaa før et led kommer i ligevegt med de tidligere, vil afhænge baade af dets egen periode og af de mellemliggende leds perioder, men er der en genetisk sammenhæng mellem de to led, vil ligevegt altid tilslut indtræde. Og naar der er indtraadt ligevegt i en serie, vil de forskjellige substanser findes i konstante mængdeforhold.

Det er ofte af interesse at studere de radioaktive stoffer under ligevegtsforholdene, men skal man kunne gjøre det for de langtlevende stoffers vedkommende, nytter det lidet at vende sig til laboratoriepræparater og handelsartikler. Man har da søgt til uran- og thoriummineralerne, i hvilke de radioaktive transformationer har foregaaet uforstyrret i hundrede tusener af aar. En stor og vigtig del af vor viden om de radioaktive stoffer er da ogsaa vundet gjennem studiet af radioaktive mineraler.

Naturligvis gjælder det for denslags arbeider at vælge mineraler som er mest mulig uforandrede, som ikke er forvitret eller paa nogen maade forandret ved atmosferiliernes indflydelse. Endvidere bør de være gamle, primære mineraler. Et mineral som i sjelden grad opfylder disse fordringer er den norske uranbegerts, brøggerit, som findes i smaa vel udviklede krystaller paa pegmatitgangene i eruptivomraadet nær Raade og Moss. Mineralet bestaar væsentlig af uranoksyd og indeholder videre oksyder af sjeldne jordarter, især thorium, og af bly. To analyser findes i tabel 1. Gjennem stadige

TABEL 1.
Brøggerit fra Raade.

	I	II
Ur	63.36	66.14
Fe	0.54	—
PbO	9.57	9.96
ThO_2	7.23	7.28
Sjeldne jordarter	1.48	1.24
SiO_2 + gangart	4.20	0.34

analyser har jeg skaffet mig sikkerhed for at forholdet mellem radium og uran i mineralet er absolut konstant, hvad der er den bedste garanti for at de to stoffer findes i radioaktiv ligevegt i det.

Digitized by Google

Som resultat af disse analyser fremgaar at forholdet er:

$$\frac{\text{Ra}}{\text{Ur}} = 3.33 \times 10^{-7}.$$

Radium selv er et langtlevende stof, og man kan derfor ikke iagtta nogen aftagen i dets straaleevne inden smaa tidsperioder. Radiums aktivitetskonstant og dermed radiums levetid har da heller ikke trods den store interesse som knytter sig til en bestemmelse af den, været kjendt med virkelig sikkerhed. Da Boltwood i 1907 opdagede radiums modersubstans, ionium, angav han en metode til bestemmelse af radiums periode. Ifølge de forsøg han da foretog, skulde denne være 2000 aar, en værdi som ogsaa gjennem flere aar er blit anseet for korrekt. Visse nyere iagttagelser gjorde imidlertid at værdien 2000 aar syntes urimelig høi, og en ny bestemmelse var paakrævet. En saadan har jeg foretat og har herunder benyttet brøggerit som udgangsmateriale.

Metoden er den samme som Boltwood har angit, og dens princip er i korthed følgende. Mineralet indeholder uran og radium i ligevegt, følgelig ogsaa ionium i ligevegt med disse. Mængden af radium i ligevegtstilstanden faar man helt enkelt ved at bestemme radiummængden i en vis mængde mineral; lad den være a eller angit som atomer N_{Ra} atomer.

Nu skiller man al den ionium, som findes i mineralet, fra dettes øvrige bestanddele; man kan ikke faa den ren, men man kan faa den fri fra de andre radioaktive substanser i uranrækken. Denne fraskilte mængde ionium er til en begyndelse radiumfri, men radium vil dannes, og radiummængden vil øge, eftersom tiden gaar. Paa den anden side er ionium en meget langtlevende substans, saa dens mængde vil ikke afta merkbart i de første aar. Vi kan derfor regne at der i tidsenheden dannes en konstant mængde radium, efter en tid t er der dannet b. Samtidig ved vi at der i tidsenheden dannes $N_{\text{Io}}\,\lambda_{\text{Io}}$ radiumatomer, følgelig i tiden t, $N_{\text{Io}}\,\lambda_{\text{Io}}\,t$. De fundne mængder radium, a og b, maa forholde sig til hverandre som de tilsvarende mængder atomer, og vi faar:

$$a : b = N_{\text{Ra}} : N_{\text{Io}}\,\lambda_{\text{Io}}\,t.$$

Men vi ved ogsaa at i ligevegtstilstanden er:

Digitized by Google

$$N_{Io}\,\lambda_{Io} = N_{Ra}\,\lambda_{Ra}$$

eller:

$$N_{Ra} = \frac{N_{Io}\,\lambda_{Io}}{\lambda_{Ra}},$$

hvoraf følger:

$$a : b = \frac{N_{Io}\,\lambda_{Io}}{\lambda_{Ra}} : N_{Io}\,\lambda_{Io}\,t,$$

$$a : b = \frac{1}{\lambda_{Ra}} : t,$$

$$\lambda_{Ra} = \frac{b}{at}.$$

Vanskeligheden ved denne bestemmelse ligger i den kemiske opgave, at faa al ionium udskilt af mineralet. Lykkes ikke dette, vil den periode man finder, faa en for høi værdi. Jeg skal ikke gi nogen beskrivelse af de anvendte kemiske operationer eller gaa ind paa de vanskeligheder som bestemmelserne har frembudt. De kan betragtes som overvundet, og dette fremgaar ogsaa af resultaterne, som indbyrdes stemmer meget godt.

De to sidste bestemmelser udførte jeg med henholdsvis 100 gram og 75 gram brøggerit, den første var en meget ren prøve, den anden en mere ordinær. Den fraskilte ionium blev i begge tilfælde bragt i opløsning, og fra tid til anden blev den dannede radiummængde i denne bestemt ved hjælp af den emanation den afgav. Maalingerne for de to ioniumopløsninger findes i tabel 2 og 3.

Af gjennemsnitsværdierne for $\frac{b}{t}$ i første opløsning beregnes radiums aktivitetskonstant $\lambda = 4.08 \times 10^{-4}\,\frac{1}{\text{aar}}$ eller perioden $T = 1698$ aar; i anden opløsning findes $\lambda = 4.14 \times 10^{-4}\,\frac{1}{\text{aar}}$ og perioden $T = 1674$ aar. Middelværdien $\lambda = 4.11 \times 10^{-4}\,\frac{1}{\text{aar}}$ og $T = 1686$ aar er i overordentlig god overensstemmelse med den værdi som Rutherford er kommet til efter en helt anden metode (1690 aar).

Digitized by Google

TABEL 2.

Radiums tilvekst i ioniumopløsning fra brøggerit 1.

t i dage	$\frac{b}{t}$
68	$0.0231 \cdot 10^{-9}$ gr.
140	0.0241 — —
277	0.0224 — —
342	0.0230 — —

$$\frac{b}{t} = 0.0230 \times 10^{-9} \text{ gr. pr. dag.}$$

$$\frac{b}{t} = 8.43 \times 10^{-9} \text{ gr. pr. aar.}$$

$$a = 2.08 \times 10^{-5} \text{ gr.}$$

$$\lambda_{Ra} = \frac{b}{at} = \frac{8.43 \times 10^{-9}}{2.08 \times 10^{-5}} = 4.08 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{aar}}$$

$$T_{Ra} = 1698 \text{ aar.}$$

TABEL 3.

Radiums tilvekst i ioniumopløsning fra brøggerit 2.

t i dage	$\frac{b}{t}$
120	$0.0155 \cdot 10^{-9}$ gr.
409	0.0158 — —
507	0.0153 — —

$$\frac{b}{t} = 0.0155 \times 10^{-9} \text{ gr. pr. dag.}$$

$$\frac{b}{t} = 5.658 \times 10^{-9} \text{ gr. pr. aar.}$$

$$a = 1.36 \times 10^{-5} \text{ gr.}$$

$$\lambda_{Ra} = \frac{b}{at} = \frac{5.658 \times 10^{-9}}{1.36 \times 10^{-5}} = 4.14 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{aar}}$$

$$T_{Ra} = 1674 \text{ aar.}$$

Digitized by Google

Ved hjælp af radiums aktivitetskonstant er man istand til at bestemme uranets. Vi kjender nemlig det konstante forhold mellem uran og radium i ligevegtstilstanden; det er:

$$\frac{Ra}{Ur} = 3.33 \times 10^{-7}.$$

Af formelen:

$$N_{Ur}\,\lambda_{Ur} = N_{Ra}\,\lambda_{Ra}$$

finder vi:

$$\lambda_{Ur} = \lambda_{Ra}\,\frac{N_{Ra}}{N_{Ur}}.$$

Men N er som tidligere antallet af atomer, og indfører vi nu atomvegterne, kan vi benytte os af det kjendte mængdeforhold; sættes N_{Ur} proportional med 1 gram uran kan vi skrive:

$$\lambda_{Ur} = \lambda_{Ra}\,\frac{238}{226} \times 3.33 \times 10^{-7} = 4.11 \times 10^{-4}\,\frac{238}{226} \times 3.33 \times 10^{-7}\,\frac{1}{aar}$$

$$\lambda_{Ur} = 1.44 \times 10^{-10}\,\frac{1}{aar}.$$

Heraf følger:

$$T_{Ur} = 4\ 81 \times 10^{9}\ aar.$$

Halvparten af en given mængde uran vil altsaa transformeres i løbet af henved 5 milliarder aar.

Efter at saaledes urans og radiums transformationskonstanter er blit bestemt, kan man si at hele uranseriens udvikling er vel kjendt. Hvad der nu i de senere aar har fanget adskillig interesse, er spørgsmaalet om hvorledes rækkens udvikling ender, hvor denne serie transformationer stopper op. Man har allerede længe vidst, at den substans som dannedes af polonium eller radium *F* ved dettes transformation, er en inaktiv substans og derfor maa være endeproduktet i uranserien. Men man har været i tvil om hvad denne substans, som vi kalder radium *G*, egentlig var. Man troede i lang tid, at den var identisk med bly, men det har nu vist sig ikke at være tilfældet. Radium *G* har en noget lavere atomvegt end bly (206.0 mod blyets 207.18) og viser ogsaa en noget lavere specifik vegt. Men med hensyn

Digitized by Google

til kemiske egenskaber har det hidtil ikke lykkedes os at paavise nogensomhelst forskjel mellem det og bly, de er hvad vi kalder *isotope* grundstoffer. Naar man derfor ad almindelig kemisk analytisk vei har bestemt bly i et mineral, kan man ikke med bestemthed sige om det kun er almindelig bly, eller om det er radium *G*, eller om der foreligger en blanding af disse to. Det kan sies, naar produktets atomvegt er blit bestemt; men en saadan bestemmelse er ikke nogen helt ligetil sag.

Kunde man imidlertid bestemme mængden af radium *G* i uranmineraler, vilde dette være af megen interesse. I disse gamle uranmineraler har de radioaktive transformationer foregaaet uforstyrret, saavidt vi kan forstaa i tusener, ja millioner af aar. Og hvergang et uranatom er blit helt afbygget, er der blit dannet et atom radium *G*. Antallet af disse i forhold til uranatomernes antal, maa altsaa vokse med mineralets alder. Nu kjender vi uranets nedbrydningshastighed, og naar vi derfor bestemmer de respektive mængder af uran og radium *G* i et mineral, kan vi regne ud, hvor mange aar der maa være medgaat til dannelsen af den sidste, med andre ord vi bestemmer mineralets alder, dets absolute alder.

Før man endnu var klar over forskjellen mellem radium *G* og almindelig bly, hadde man bestemt forholdet mellem uran og bly i mange mineraler. Det viste sig for det første at alle gamle, uforandrede uranmineraler indeholdt bly, og dettes mængde var større i ældre mineraler end i yngre; det viste sig videre at i mineraler fra samme egn, som maatte antages at skrive sig fra samme geologiske periode, var forholdstallene bly/uran merkværdig konstante. Med vort nuværende kjendskab til bly og radium *G* maa vi derfor si at det allerede efter disse ældre bestemmelser synes sikkert, at det som er bestemt som bly, i alt væsentlig maa ha bestaaet af radium *G*.

Hvis dette er saa, maa altsaa disse mineraler ha været helt eller saagodtsom fri for bly ved sin dannelse, og det blyisotop som findes, maa være dannet ved de radioaktive processer. For at aldersbestemmelsen skal faa nogen værdi, maa desuden den blyisotop som er dannet i mineralet, ikke senere paa nogen maade være skaffet væk fra mineralet.

Denne sidste betingelse kan vi bortse fra, idet nemlig allerede

Digitized by Google

mineralets ydre vil antyde, og en analyse af dets uran og radiumindhold med sikkerhed vil la os vide, om vi har at gjøre med et uforandret mineral; — for alle andre blir denne slags aldersbestemmelse uden værdi.

Derimod skal vi se paa den første betingelse, om det er rimelig at disse mineraler kun skal indeholde blyisotop af radioaktiv oprindelse — ikke almindelig bly.

I almindelighed kan man afgjøre om et mineral er af samme alder som den bergart, hvori det forekommer eller om det er ældre eller yngre. I eruptiver er mineralerne gjerne af samme alder som bergarten; i sedimentære bergarter er mineralpartiklerne som regel fra en meget ældre tid end den i hvilken bergarten blev afsat, og det sammenbindende materiale er delvis afsat af opløsninger som har trængt igennem, — er altsaa yngre. Det samme gjælder mineralafsætninger som udfylder sprækker og hulrum i tidligere formationer.

Et mineral kan derfor i almindelighed føres tilbage til en eruptiv bergart og til det magma, hvoraf denne er dannet. Et saadant magma er at betragte som en opløsning af en hel del konstituenter i hverandre. Nogen af disse kan bare holdes i opløsning, saalænge denne er meget fortyndet, og derfor vil mineraler som indeholder disse konstituenter, først udkrystallisere; det gjælder f. ex. mineraler som titanit, zirkon og apatit. Videre hænder det ofte at et magma ikke holder sig ensartet, men skiller ud visse af de sjeldnere stoffer i et specielt magma. Vanddamp og gasarter kommer ofte til og holder da det specielle magma flydende, naar hovedmagmaet stivner. Fra dette specielle magma dannes mineralerne i pegmatitganger og druserum.

Baade uran og thorium hører til de lidet opløselige stoffer i magmaet. Derfor skilles de ud i forholdsvis større mængder i de først krystalliserende mineraler som zirkon og apatit, og der findes mindre af dem i de mere ordinære mineraler, som feldspat f. ex. Men forekommer de i magmaet i nogen større mængde, vil de stødes ud i det specielle magma, og de vil gjenfindes i form af egne uran- og thorium-mineraler i pegmatiter.

Det bly som maatte være tilstede i magmaet, synes at bli stødt ud, ikke bare af det oprindelige, men ogsaa af det specielle magma. Der findes derfor i det hele tat meget lidet bly i eruptive bergarter. Det synes at bli ført væk fra magmaet sammen med varme gaser, sulfid-

Digitized by Google

opløsning og metaller og afsættes i sprækker som paatræffes i form af egne blymineraler, især blyglans.

Analyserer man nu en almindelig bergartsprøve, vil denne fra sin dannelse indeholde meget smaa mængder af uran og smaa mængder af bly. Det er klart at det radium *G*, som da er opstaat efter mineralets dannelse ved uranets transformation, vil være ubetydelig i forhold til det bly som allerede forelaa, og aldersbestemmelser blir absolut værdiløse. I et virkelig uranmineral derimod vil den radium *G*, som er dannet ved transformationerne, høist sandsynlig findes i langt større mængder end bly, og aldersbestemmelsen vil bli tilnærmet rigtig.

Man ser altsaa, at der ikke egentlig kan reises nogen indvending mod metodens anvendelse til aldersbestemmelser ud fra mineralogisk synspunkt. Men en ganske anden positiv støtte faar sagen, naar man ser paa de praktiske følger af en række analyser.

Gaar man ud fra at al mineralets blyisotop bestaar af radium *G*, kan man beregne dets alder paa følgende maade, efter først at ha bestemt dets indhold af bly og af uran: Lad N_0 betegne det oprindelige antal af uranatomer og λ_1 uranets aktivitetskonstant $\left(1.44 \times 10^{-10} \frac{1}{\text{aar}}\right)$. Efter en tid, *t*, vil der være tilbage endel uforandrede uranatomer, nemlig $N_0 e^{-\lambda_1 t}$, mens antallet $N_0 (1 - e^{-\lambda_1 t})$ vil være omdannet til radium *G* eller være ifærd med at omdannes. Vi kan bortse fra mellemleddene og faar da:

$$\frac{N_{\text{Ra}\,G}}{N_{\text{Ur}}} = \frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{e^{-\lambda_1 t}},$$

hvor *N* betegner antal atomer. For at kunne benytte det fundne mængdeforhold, maa atomvegtene indføres.

$$\frac{\text{Ra}\ G}{\text{Ur}} = \frac{206.0}{238.2} \times \frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{e^{-\lambda_1 t}}$$

$$\frac{\text{Ra}\ G}{\text{Ur}} = \frac{206.0}{238.2} \times (e^{\lambda_1 t} - 1)$$

$$\text{Ra}\ G = \text{Ur} \times 0.8648\,(e^{\lambda_1 t} - 1).$$

Digitized by Google

TABEL 4.

Uraniniter fra Gladstonbury, Conn. U. S. A.

Uran	Bly	$\frac{\text{Bly}}{\text{Uran}}$
70	2.9	0.041
70	3.0	0.042
70	2.8	0.039
72	3.0	0.041
72	2.9	0.040

TABEL 5.

Uraniniter fra Branchville Conn. U. S. A.

Uran	Bly	$\frac{\text{Bly}}{\text{Uran}}$
74	4.0	0.052
75	4.0	0.051
74	4.0	0.052
66	3.5	0.051

Tabel 4 viser resultaterne af uran- og bly-analyser for en række uraniniter som er fundet i feldspatbrud i Gladstonbury i Connecticutt i de Forenede Stater. Pegmatiten som krystallerne er fundet i, ledsager en granit der sandsynligvis maa skrive sig fra den seneste kultid; den gjennemsætter nemlig nogle sedimentære lag fra den tidlige kultid.

Man lægger merke til hvor konstant forholdet uran/bly er for disse forskjellige prøver; det har en værdi af 0.04, hvad der skulde gi mineralet en alder af 340 millioner aar.

Lignende krystallinske uraniniter er fundet i pegmatiter i Branchville i Connecticutt. De lag som der gennemskjæres af eruptiven, tilhører silur eller ordovicium, og eruptiven skriver sig sandsynligvis fra ordoviciums slutning. Disse uraniniter skulde med andre ord være noget ældre end de foregaaende; tabel 5 viser at der i dem er et lignende konstant forhold mellem bly og uran; men den viser ogsaa at forholdstallet her er større, 0.051, hvad der tilsvarer en alder af 430 millioner aar.

Digitized by Google

TABEL 6.

Uraniniter fra omegnen af Moss, Norge.

Uran	Bly	$\frac{\text{Bly}}{\text{Uran}}$
66	8.4	0.12
68	7.8	0.11
15	2.2	0.135
66	9.3	0.13
57	8.0	0.13
65	8.8	0.135
68	8.8	0.12
76	9.0	0.11

TABEL 7.

Mineraler fra omegnen af Arendal, Norge.

Mineral	Findested	Uran	Bly	$\frac{\text{Bly}}{\text{Uran}}$
Uraninit	Arendal	56	9.8	0.14
—	—	61	10.2	0.15
—	—	56	9.4	0.15
Thorit	—	9	1.5	0.16
Orangit	Landbö	7.5	1.2	0.15
Xenotim	Narestö	2.9	0.62	0.19

De anførte analyser er samlet af *Boltwood*. Han har ogsaa angit analyseresultater af to grupper af norske mineraler, den første fra egnen om Moss, den anden fra Arendal. De findes i tabellerne 6 og 7. Man ser at forholdstallene her er betydelig høiere, 0.13 og 0.15. Mineralerne faar en alder af henholdsvis 1000 og 1200 millioner aar, og blir altsaa betydelig ældre end de foregaaende. Dette stemmer imidlertid med de norske geologers opfatning af de to eruptivomraader, som de mener maa skrive sig fra den yngre arkeiske tid.

I tabel 8 er resultaterne af disse og endel andre lignende bestemmelser stillet op ved siden af den rækkefølge af jordperioder

Digitized by Google

TABEL 8.

De geologiske perioder	Alder i millioner aar beregnet efter indhold af bly
Pleistocen	
Pliocen	
Miocen	
Oligocen	
Eocen	
Kridt	
Jura	
Trias	
Perm	
Karbon	340
Devon	370
Silur	430
Ordovicium	
Kambrium	
Algonk	1000 á 1200
Arkeisk tid	1400 à 1600

som geologerne forlængst har fastslaaet*). Vi ser at de absolute aldersbestemmelser efter bly-uran-indholdet fuldstændig følger den anden tidsskala, hvad der naturligvis er den bedste og betydningsfuldeste støtte for at en beregning som den angivne, maa være korrekt i det store og hele tat. Og man maa heraf videre kunne slutte at blyet i disse mineraler for en alt overveiende del er radium *G*, dannet ved de radioaktive processer.

At forholdet straks stiller sig anderledes naar man undersøger uranfattigere mineraler, fremgaar af tabel 9; den indeholder analyser af en række mineraler fra nephelinsyeniterne i nærheden af Brevik. Disse skulde efter professor Brøggers mening sandsynligvis tilhøre den ældre eller midlere devon; analyserne er udført af Holmes. Forholdet bly/uran er her nogenlunde konstant for de mineraler som endnu indeholder 0.2 % uran; derimod blir forholdet foranderlig og stadig større, naar man kommer til de uranfattigere mineraler. Det er meget paatagelig at feldspat f. ex., med sit yderst ringe indhold

*) Denne saavelsom flere af de foregaaende tabeller er tat efter et arbeide af A. Holmes: The Age of the Earth, London 1913.

Digitized by Google

TABEL 9.

Mineral	Uran gr. i 100 gr. mineral	Bly gr. i 100 gr. mineral	$\frac{\text{Bly}}{\text{Uran}}$
Thorit.	10.1040	0.4279	0.042
Orangit	1.2437	0.0570	0.046
Orangit	1.1825	0.0542	0.046
Thorit.	0.4072	0.0196	0.048
Homilit	0.2442	0.0121	0.049
Zirkon.	0.1941	0.0085	0.044
Pyroklor	0 1923	0.0120	0.062
Pyroklor	0.1855	0.0093	0.050
Biotit	0.1602	0.0069	0.043
Tritomit	0.0631	0.0026	0.041
Freyalit.	0.0526	0.0028	0.053
Mosandrit	0.0432	0.0024	0.056
Ægirin	0.0253	0.0015	0.060
Astrofyllit	0.0140	0.0007	0.050
Katapleït	0.0132	0.0009	0.068
Nefelin	0.0010	0.0004	0.400
Feldspat	0.0006	0.0003	0.500

af uran, kommer op i et forholdstal som er ti gange saa stort som det nogenlunde konstante tal for seriens første led. Man paatvinges helt uvilkaarlig den opfatning, at i disse uranfattigere mineraler er det det oprindelige bly som gør sig sterkt gjældende, saaledes at mængden af dannet radium *G* i forhold til det blir helt ubetydelig; aldersbestemmelsen blir følgelig værdiløs.

Jeg tænker det vil være klart, uden at jeg ofrer det nogen større omtale, at det vilde være af stor interesse at faa fastslaaet for en eller flere mineralprøver, om den indeholdte blyisotop bestod udelukkende af radium *G*, eller hvor stor tilblandingen af almindelig bly var. Det er dette som det nu er mulig at bestemme for en brøggeritprøve.

Da jeg for nogen tid siden bestemte radiums aktivitetskonstant i en større prøve brøggerit, sendte jeg den indeholdte blyisotop til professor *Richards* i Harvard, og han har siden i samarbeide med *Wadsworth* bestemt dens atomvegt; denne viste sig at være 206.12, en værdi

Digitized by Google

som nærmer sig radium G's — 206.0, og er betydelig lavere end almindelig blys — 207.18.

Der er imidlertid endnu et hensyn at ta ved aldersbestemmelsen af brøggerit. Dette mineral indeholder ogsaa thorium, og det er utvivlsomt at der ogsaa i thoriumserien dannes flere stoffer som er isotope med bly. Men det er vistnok kun i den ene gren, den der representerer de 35 % af transformationen af thorium C, at der er et stabilt endeprodukt, isotopt med bly; det er det som paa planche 1 er betegnet som thorium D'. Thoriums transformation vil ha foregaaet som urans uden forandringer siden mineralets dannelse, og der vil i denne tid være opstaaet thorium D' i en mængde som bestemmes af thoriums aktivitetskonstant og af thoriummængden, idet man dog af denne kun vil ha at ta hensyn til de 35 %.

Ud fra transformationstheorien kan man beregne atomvegten af thorium D', og man finder værdien 208.0; dette støttes ogsaa af endel experimentelle undersøgelser af atomvegten af blyisotoper fra thoriummineraler.

Vi skal da anta at blyisotopen i brøggerit sammensættes af: I: radium G med atomvegt 206.0, II: thorium D' med atomvegt 208.0 og III: almindelig bly med atomvegt 207.18. De radioaktive processer som har ført til dannelsen af radium G og thorium D' har forløbet parallelt i hele det henrundne tidsrum; de dannede mængder af de to endeprodukter vil derfor staa i et forhold til hinanden, som bestemmes af de forhaandenværende mængder af uran og thorium og af disses aktivitetskonstanter. Forholdet mellem uran og radium G blev git side 112 og er:

$$\text{Ra } G = \text{Ur} \times 0.8648\,(e^{\lambda_1 t} - 1).$$

Forholdet mellem thorium og thorium D' kan udtrykkes paa lignende maade:

$$\frac{\text{Th } D'}{0.35\ \text{Th}} = \frac{208.0}{232.1}\,(e^{\lambda_2 t} - 1)$$

$$\text{Th } D' = \text{Th} \times 0.314\,(e^{\lambda_2 t} - 1).$$

λ_2 betegner thoriums aktivitetskonstant; den er blit bestemt af Rutherford og Geiger og har værdien:

$$\lambda_2 = 5.44 \times 10^{-11}\,\frac{1}{\text{aar}}.$$

Digitized by Google

Forholdet mellem radium G og thorium D' blir da:

$$\frac{\text{Ra } G}{\text{Th } D'} = \frac{\text{Ur} \times 0.8648}{\text{Th} \times 0.314} \times \frac{e^{\lambda_1 t} - 1}{e^{\lambda_2 t} - 1}.$$

t har samme værdi i de to tilfælde, da uran og thorium begge har foreligget i mineralet siden dettes dannelse. Man begaar ingen større feil om man erstatter udtrykkene $e^{\lambda t}$ med værdierne for λ. For imidlertid at opnaa den størst mulige nøiagtighed har jeg foretat beregningen under antagelsen af at t hadde en værdi af 9.5×10^8 aar, en værdi som blev fundet ved en tilnærmet beregning.

Man finder da:

$$\frac{\text{Ra } G}{\text{Th } D'} = \frac{\text{Ur}}{\text{Th}} \times 7.6256.$$

Den brøggeritprøve hvis blyisotop Richards har bestemt atomvegten af, indeholdt i 100 gram mineral:

Uran	61.67 gr.
Blyisotop	8.64 -
Thorium	6.30 -

og blyisotopen hadde en atomvegt af 206.12.

Lar man nu Ra G, Th D' og Pb betegne den procentiske mængde af disse tre stoffer i blyisotopen, faar man:

1. $\dfrac{\text{Ra } G}{\text{Th } D'} = \dfrac{61.67}{6.30} \times 7.6265$
2. $206.0\ \text{Ra } G + 208\ 0\ \text{Th } D' + 207.18\ \text{Pb} = 100 \times 206\ 12$
3. $\text{Ra } G + \text{Th } D' + \text{Pb} = 100$

og isotopblandingen viser sig at ha følgende sammensætning:

Radium G	90.68
Thorium D'	1,21
Bly	8.11

I 100 gram brøggerit er der altsaa 7.83 gr. radium G.

Digitized by Google

Tilbage staar da kun aldersberegningen

$$\text{Ra } G = \text{Ur} \times 0.8648\,(e^{\lambda_1 t} - 1)$$
$$t = 951.23 \times 10^6 \text{ aar}$$

eller 950 millioner aar.

Dette er da den værdi som den absolute aldersberegning gir os for denne bestemte prøve af brøggerit, som er blit helt undersøgt. Den store konstans i forholdet mellem blyisotop og uran i de forskjellige brøggeriter, gjør det imidlertid sandsynlig at man ogsaa for andre prøver vilde finde meget nær det samme forhold mellem radium

TABEL 10.

Brøggeriter fra Moss og Raade, Norge.

	Uran	Bly	$\frac{\text{Bly}}{\text{Uran}}$
Hillebrand XII . .	69.30	8.77	0.118
— XIII. .	66.14	9.38	0.132
— XIV. .	66.48	9.39	0.131
— XV . .	66.34	8.92	0.125
— XVI . .	68.10	8.8	0.120
Gleditsch I	63.36	8.88	0.130
— II	64.39	8.93	0.129
— III	66.14	9.25	0.130
— IV	66.13	9.27	0.130
— V	66.58	9.23	0.129
— VI	66.34	9.25	0.130
— VII	61.67	8.64	0.130

G og almindelig bly. Tabel 10 viser indholdet af samlet blyisotop og uran i en række brøggeritprøver, analyseret dels af Hillebrand dels af mig. Man ser at forholdet er meget konstant; det er dog værd at lægge merke til at netop de reneste prøver, de særlig uranrige, viser lidt lavere forholdstal. Sandsynligvis er der i dem en mindre tilblanding af bly — kanske et rent radium *G;* den samme alder vil da naturligvis fremgaa af et lidt lavere forholdstal.

De pegmatitgange hvori brøggerit er fundet, forekommer i en granit som efter professor Brøggers mening tilhører Fredrikshalds-

Digitized by Google

graniten. Det antages almindelig af de skandinaviske geologer at denne er fra samme periode som Stockholmsgraniten, og sandsynligvis fra den senere arkeiske tid — algonk.

Denne periodes alder skulde da dermed være bestemt til henved tusen millioner aar.

Jeg har allerede bemerket at de absolute aldersbestemmelser, støttet paa bly/uran-forholdet, gir de forskjellige jordperioder en rækkefølge som er absolut identisk med den, geologerne har faststillet. Med hensyn til værdierne af de absolute aldersbestemmelser maa man vel si at de tal radioaktivitetsforskerne her presenterer geologerne, gjennemgaaende er noget større end disse hadde ventet.

Ogsaa geologerne har nemlig forsøgt at foreta absolute aldersbestemmelser, og som man vil vide støtter disse sig i særdeleshed paa akkumulationen af klornatrium i sjøvand, akkumulationen af sedimenter og af kalciumkarbonat. Vor metode støtter sig paa akkumulationen af radium *G* i radioaktive mineraler, og vor metode gir decideret høiere værdier end geologernes. I begge tilfælde beror hele metodens anvendelse paa den antagelse at visse processer som vi iagttar i vor tid, har foregaat uden forandring gjennem millioner af aar. Er imidlertid dette korrekt for det ene sæt phenomener, maa der være noget galt ved benyttelsen af det andet sæt, siden resultaterne blir saa forskjellige.

Nu maa man vel sige at vi ved meget lidet om, hvorvidt der er noget virkelig uniformitet i de geologiske processer som foregaar og som har foregaaet. Det er ikke det mindste urimelig at anta at de kan ha foregaaet hurtigere i enkelte perioder, langsommere i andre. Derimod er det meget lidet sandsynlig at de radioaktive processer kan ha foregaaet med nogen anden hastighed eller paa nogen anden maade i tidligere tider end nu. Det har jo nemlig, som jeg tidligere har nævnt, vist sig absolut umulig at indvirke paa disse processer. alle vore kemiske, fysiske og mekaniske kræfter har her vist sig magtesløse: de kan ikke øve den mindste indflydelse paa den hastighed hvormed et af de radioaktive stoffer transformeres.

Videre iagttagelser vil forhaabentlig sætte os istand til at bringe klarhed i sagen. At det i ethvert fald vil være af stor interesse at fortsætte aldersbestemmelserne af de radioaktive mineraler, tror jeg at man maa være enige om.

Digitized by Google

Om D'Alemberts Princip.

Af

C. Juel.

Vor Dynamik — eller med et andet bedre Navn Kinetik — er ikke nogen gammel Videnskab. Oldtiden har saa at sige ikke givet noget Bidrag dertil, selv om det muligvis ved nærmere Betragtning vil vise sig at være lidt mere, end man for en Menneskealder siden mente. Men selv om Oldtiden ikke synes at have kendt noget til den egentlige Kinetik, var den geometriske Banebeskrivelse ikke lidt udviklet, mest af Hensyn til Astronomien. Ligeledes kendte man til Sammensætning af Bevægelser og derigennem implicite til Hastigheders Sammensætning.

Gennembruddet kommer først med Galilei (1564—1642). Hovedsagen er den, at han bestemmer Kraften som proportional med Hastighedstilvæksten. Han kender naturligvis ogsaa Bevægelsers og Hastigheders Sammensætning — han anvender dem netop i høj Grad — men Sammensætning af Kræfter taler han intet Steds om. I statisk Henseende var Sætningen om Kræfternes Parallelogram allerede bekendt før Galilei, saaledes af Leonardo, og i fuldt udviklet Form blev den fremsat af Stevin (1586).

Men som dynamisk Princip blev den først klart udtalt af Newton i Begyndelsen af hans »principia mathematica philosophiae naturalis«, der udkom i 1687. Ser man nu paa Newtons Bevis, kan man ikke andet end lægge Mærke til, at han — selv om han taler om Kræfter —, dog bærer sig ad som om det drejede sig om Hastigheder*). Men det er dog ikke ved en Misforstaaelse, at man tillægger Newton et Bevis for den dynamiske Sammensætning af Kræfter ved et Parallelogram. Hastighedsdiagrammet har for Newton nemlig foruden den sædvanlige endnu en anden Betydning. Dette beror paa, at Newton om Kraften forudsætter:

1) at den virker diskontinuerlig gennem smaa Stød,

2) at den virker paa samme Maade, hvad enten Legemet er i Hvile, eller det har en fremadskridende Bevægelse, der er konstant i Størrelse og Retning. Giver man altsaa Legemet — rettere Par-

*) Det kan bemærkes, at Newton netop ved denne Sætning bemærker, at den bekræftes ved »Mekaniken«, d. v. s. ved tekniske Anvendelser.

Digitized by Google

tiklen — en Hastighed lig og modsat den Hastighed, den i Øjeblikket har, bliver den ændrede Hastighed netop Akcelerationen, og Hastighedsdiagrammet gaar paa den Maade over til Akcelerationsdiagrammet. Denne Opfattelse — som man kalder det Newtonske Relativitetsprincip — har den Følge, at de mekaniske Forfattere næsten hele det 18de Aarhundrede igennem benytter en Udtrykslmaade, der ved Sammenblanding af Hastighed og Akceleration synes os uklar. Dette gælder ikke mindst d'Alembert.

D'Alemberts Arbejder over Mekanik er altfor righoldige til at vi her skulde kunne nævne dem alle. Jeg vil alene holde mig til det efter ham opkaldte Princip og de nærmest liggende Anvendelser deraf. Dette findes i hans »traité de dynamique«, der udkom 1743.

I dette Værks første Afsnit giver han Grundlaget dels for Statiken, dels for Læren om Stødet. Man lægger her særlig Mærke til den Ligevægtsbetingelse, der for ham spiller en stor Rolle:

Naar to Legemer, hvis Hastigheder forholder sig omvendt som deres Masser, har modsatte Bevægelsesretninger paa Forbindelseslinien og er fast forbundne, saa vil der være Ligevægt mellem de to Legemer.

Man ser, at denne Ligevægtsbetingelse har en paafaldende kinetisk Karakter.

Hovedsagen er imidlertid det Princip, som han opstiller i Begyndelsen af Bogens andet Afsnit og udtaler paa følgende Maade:

Lad der være givet et System af forbundne Legemer. Paavirkes disse af indprægede Bevægelser $a, b, c \cdots$, og vil man finde Systemets Bevægelse, saa opløser man hver af disse Bevægelser i to andre $a_1, \alpha \cdots$, $b_1, \beta \cdots$ paa en saadan Maade, at hvis Bevægelserne $a_1, b_1, c_1 \cdots$ alene var indprægede, vilde Legemerne foretage disse Bevægelser uden Hindring, og udtrykker dernæst, at Systemet vil være i Hvile, naar alene Bevægelserne $\alpha, \beta, \gamma \cdots$ var indprægede.

Hermed er Opgaven reduceret til en Ligevægtsopgave.

Efter Ordlyden svarer Løsningen nærmest til en Paavirkning af Systemet ved Stødkræfter, der maales ved Masse gange Hastighed — der er proportional med »Bevægelsen« — men med det

Digitized by Google

ovenstaaende in mente forstaar man, at D'Alembert lige saa vel tænker paa kontinuerligt virkende Kræfter.

Det første Problem, D'Alembert behandler, er det fysiske Pendul, idet han tænker sig en vægtløs Stang belastet med tunge Legemer (Partikler). Behandlingen er — naar man ser bort fra den fremmedartede Udtryksmaade — ikke meget forskellig fra den, vi nu vilde give af Opgaven ved det samme Princip.

Dette Problem var løst flere Gange før, i fuld Almindelighed første Gang af Huygens og senere af Jacob Bernoulli. Den sidstes Løsning var ikke saa meget forskellig fra D'Alembert's, hvad denne ogsaa selv indrømmer. Man har derfor med Rette kaldt Jacob Bernoulli en Forløber for D'Alembert, men denne sidstes Opfattelse er saa dybtgaaende og omfattende, at Princípet med fuld Anerkendelse fra alle Sider er fast knyttet til D'Alemberts Navn *).

Vi vil nu tage et Eksempel paa en for D'Alembert karakteristisk Løsning af en mekanisk Opgave. Vi vil her faa at se hvor forbausende besværligt det til en Begyndelse var at anvende Princípet. Den Besværlighed blev det først befriet for af Lagrange.

Inden han gaar over til Opgaven, opstiller han et Par Hjælpesætninger, som han faar Brug for. Man vil let se, at disse svarer til, at en Akceleration er og bliver en Vektordifferens, saa at han paa en eller anden Maade maa have Udtryk for Forskellen i Størrelse og i Retning af to uendelig nær paa hinanden følgende Vektorer.

Ved Opstillingen af og Beviserne for disse Sætninger skal jeg følge D'Alembert selv, men jeg vil bruge andre Bogstaver end han, ligesom ved den følgende Opgave, da det letter Oversigten uden i nogen Maade at ændre hans Tankegang.

Sætningerne lyder:

Lad r_1 og r_2 være to uendelig nær paa hinanden følgende Liniestykker ab og ac (se Fig. 1). Man har da, idet $r_1 - r_2$ er uendelig lille af 1ste Orden, paa uendelig smaa Størrelser af 3die Orden nær:

$$r_1 - r_2 = 2(r_1 - r) - r_1\alpha^2 \qquad (I)$$

$$\beta - \alpha = 2\frac{r_1 - r}{r_1}\alpha. \qquad (II)$$

*) Det blev paastaaet af Fontaine, at han i 1739 har meddelt i Akademiet et Princip af lignende Art som D'Alemberts, men han har intet skrevet derom.

Digitized by Google

Her betyder r Medianen ad i $\triangle abc$, og α og β henholdsvis $\angle(r_1 r)$ og $\angle(r r_2)$. Lad p være Afstanden fra b eller c til ad. Man har da, idet ε antages at være af 1ste Orden:

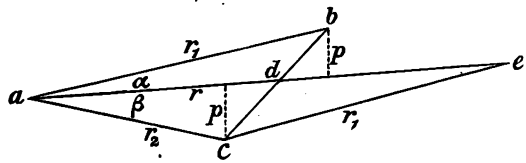


Fig. 1.

$$\beta - \alpha = \frac{p}{r_2} - \frac{p}{r_1} = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \cdot \frac{p}{r_2} = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \beta \sim \varepsilon^2.$$

$$\beta^2 - \alpha^2 = (\beta - \alpha)(\beta + \alpha) \sim \varepsilon^3.$$

Forlænger man ad til e, saa at $de = ad$, faar man af $\triangle ace$:

$$r_1 + r_2 - 2r = r_1(1 - \cos\alpha) + r_2(1 - \cos\beta) = \tfrac{1}{2} r_1 \alpha^2 + \tfrac{1}{2} r_2 \beta^2 = \tfrac{1}{2} r_1 (\alpha^2 + \beta^2) = r_1 \alpha^2,$$

hvilket er den første Ligning.

Dernæst faar man

$$\beta - \alpha = \beta - \frac{r_2}{r_1}\beta = \frac{r_1 - r_2}{r_1}\beta = 2\frac{r_1 - r}{r_1}\beta - \alpha^2\beta = 2\frac{r_1 - r}{r_1}\beta.$$

D'Alembert's Opgave lyder:

En Stang OA af Længden a kan frit dreje sig om sit ene Endepunkt O; i det andet Endepunkt er fæstet en Masse A, og en Masse B kan frit glide langs Stangen. Find Bevægelsen, naar ingen ydre Kræfter virker; bestem særlig Banen for B.

I det første Tidselement dt antages Massen A at gaa fra A til A_1, B fra B til B_1. Hvis nu begge Masser var frie, vilde i det næste Tidselement af samme Størrelse, A være kommen til A_2, B til B'', hvor $A_1A_2 = AA_1 = \sigma$ og $B_1B'' = BB_1$. Men nu er de ikke frie, og vi vil med d'Alembert antage, at Stangen i den samme Tid dt_1, hvori den i den bundne Bevægelse er kommen til A_2, i den frie vilde være kommen til A', hvor $A_2A' = \alpha$. I Tiden dt_1

Digitized by Google

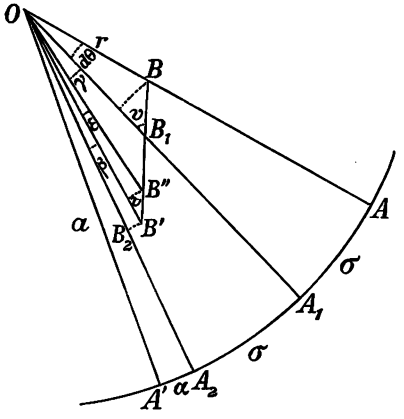


Fig. 2.

vilde da B ikke være kommen til B'', men til et Punkt B' paa Linien B_1B'' bestemt ved

$$B''B' = \frac{\alpha}{\sigma} \cdot B_1B'' = \frac{\alpha}{\sigma} \cdot BB_1,$$

hvis Massen var fri. I den bundne Bevægelse er den imidlertid kommen til et Punkt B_2 paa Linien OA_2. De tabte Hastigheder, som d'Alembert altsaa i Overensstemmelse med det ovenstaaende stadig opererer med, er da for A's Vedkommende $A_2A' = \alpha$ og for B's Vedkommende $B'B_2$.

Nu skal disse Bevægelser være af den Beskaffenhed, at de holder Systemet i Ligevægt. Dette kræver:

1) $B_2B' \perp OA_2$, thi ellers vilde B glide langs Stangen,
2) $B \cdot B_2B' \cdot OB_2 = A\alpha a$, thi ellers vilde Stangen dreje sig om O.

Nu sættes:

$$OB = r; \quad OB_1 = r + dr; \quad OB_2 = OB' = r + 2dr + d^2r;$$

og

$$\angle AOA_1 = B_1OB_2 = d\theta; \quad B_1OB'' = \gamma; \quad B''OB' = \varepsilon; \quad B'OB_2 = \beta.$$

Endvidere vil vi sætte $\angle OB_1B = \angle OB'B'' = v$ og benytte $\sin v$, hvad d'Alembert ikke gør, da han efter den Tids Skik altid om muligt erstatter trigonometriske Funktioner med Forhold.

Digitized by Google

Nu er med lovlige Bortkastelser:

$$\angle B''OB' = \frac{B'B''\sin v}{OB_2} = \frac{\frac{\alpha}{\sigma}\cdot BB_1 \sin v}{OB} = \frac{\frac{\alpha}{\sigma}\cdot\frac{r}{a}\sigma}{r} = \frac{\alpha}{a} = \angle A_2OA'.$$

Figuren viser nu:

$$d\theta = \beta + \varepsilon + \gamma.$$

Her er ifølge Betingelsen (2):

$$\beta = \frac{B_2B'}{OB_2} = \frac{Aa\alpha}{B\cdot OB_2^2} = \frac{Aa\alpha}{Br^2} = \frac{Aa^2}{Br^2}\frac{\alpha}{a} = \frac{Aa^2}{Br^2}\cdot\varepsilon.$$

Efter Hjælpesætning II har man endvidere

$$d\theta - \gamma = 2\frac{r + dr - r}{r}d\theta = 2\frac{drd\theta}{r},$$

altsaa

$$\gamma = d\theta - \frac{2dr}{r}d\theta,$$

og

$$d\theta = \frac{Aa^2}{Br^2}\varepsilon + \varepsilon + d\theta - \frac{2dr}{r}d\theta,$$

hvoraf

$$\varepsilon = \frac{2Brdrd\theta}{Aa^2 + Br^2}.$$

Nu maa der søges et Udtryk for d^2r.
Det kan man faa ved at bestemme et nyt Udtryk for

$$OB' - OB = OB_2 - OB = 2dr + d^2r.$$

Man har efter Figuren

$$OB' - OB = (OB' - OB'') + (OB'' - OB) = r\varepsilon\cdot\frac{dr}{rd\theta} + (OB'' - OB).$$

Men Hjælpesætning (I) giver

$$OB - OB'' = 2(-dr) - rd\theta^2,$$

altsaa faar man

$$2dr + d^2r = \varepsilon\frac{dr}{d\theta} + 2dr + rd\theta^2.$$

hvoraf ved Indsættelse af den fundne Værdi for ε:

Digitized by Google

$$d^2r = rd\theta^2 + \frac{2Brdr^2}{Aa^2 + Br^2}.$$

Dette er Differentialligningen for den af B beskrevne Kurve. Den reduceres af d'Alembert til en Differentialligning af 1ste Orden omtrent paa samme Maade, som vi nu vilde gøre det.

Som man ser er Løsningen ikke saa helt simpel efter den oprindelige Maade, hvorpaa d'Alembert bruger sit Princip. Men paa den Tid var man vant til Fremgangsmaader som ovenstaaende, saa Sagen blev hurtigt forstaaet. Det viser sig blandt andet derved, at fra det Øjeblik d'Alemberts traité fremkom, forsvandt den Skik, at man i Datidens videnskabelige Tidsskrifter stillede hinanden mekaniske Opgaver til Løsning.

I det nysnævnte Eksempel gør d'Alembert ovenikøbet selv Løsningen besværligere ved ikke at vælge de to paa hinanden følgende Tidselementer dt og dt_1 ligestore. Dette blev ogsaa bebrejdet ham af Lagrange i de historiske Indledninger, der findes i hans mécanique analytique. Deri har Lagrange naturligvis fuldstændig Ret, men man maa ikke glemme, at d'Alembert gør det af en bestemt Grund. Det, han ønsker, er nemlig at finde Banen for Massen B, d. v. s. en Ligning mellem r og θ, men det medførte efter den Tids Begreber, at han maatte holde $d\theta$ konstant, og det er netop det, han gør.

Men foruden paa specielle Eksempler anvender d'Alembert ogsaa sit Princip paa de almindelige Hovedsætninger i Dynamiken, og ikke mindst deri maa man sætte hans store Betydning for Mekanikens Udvikling.

Alle de 3 Hovedsætninger — eller Principer, som man med en uegentlig Brug af Ordet Princip ofte kalder dem — er for første Gang beviste af d'Alembert. Bevis betyder naturligvis her, som overalt i Anvendelser, ikke egentlig logiske Beviser, men en Udledning af tidligere anerkendte Sætninger, her altsaa d'Alemberts Princip. Dettes mere eller mindre logiske Karakter skal vi senere se paa.

Det første Bevægelsesprincip, nemlig om Tyngdepunktets Bevægelse, var i et specielt Tilfælde allerede opstillet af Newton i Begyndelsen af »principia« (1687). Newtons Sætning lyder:

Tyngdepunktet for et System af Partikler, der er upaavirkede af ydre Kræfter, men hvori indre Kræfter

Digitized by Google

kan virke i Overensstemmelse med Sætningen om Aktion og Reaktion, er enten i Hvile eller vil bevæge sig i ret Linie med konstant Hastighed.

Overgangen fra denne Sætning til den almindelige er ikke stor, men d'Alembert er den første, der har udtalt i Almindelighed, at Tyngdepunktet vil bevæge sig (som om Massen var forenet i Tyngdepunktet) og dette blev angrebet af Kræfternes Resultant.

Den Del af Sætningen, der staar i Parentes, udsiger han ikke direkte, men underforstaar den. Endvidere kan man af Formen paa Sætningen se, at paa den Tid stod Spørgsmaalet om Sammensætning af Kræfter i Rummet endnu i det uklare, thi et vilkaarligt System af Kræfter har jo ingen Enkeltresultant i Almindelighed; (Problemet om et Kraftsystems Reduktion blev først optaget af Euler i hans »theoria motus corporum solidorum« (1765)). Men det spiller ingen Rolle for det foreliggende Problem. Han opløser simpelthen Kræfterne efter bestemte Retninger og adderer Komponenterne.

Han beviser nu først, at naar et System af Legemer (hvorved han her som altid forstaar, hvad vi nu kalder materielle Partikler) er indbyrdes frie, vil dets Tyngdepunkt bevæge sig paa den angivne Maade. Dette kan han gøre, da han godt kender Udtrykket $\xi = \frac{\Sigma mx}{\Sigma m}$ for et Tyngdepunkts Afstand fra en fast Plan (dette findes ogsaa væsentlig hos Newton). Deraf drager han saa den Slutning, at et System af Kræfter, der holder hinanden i Ligevægt, ikke vil forandre Bevægelsen af Systemets Tyngdepunkt, forsaavidt det bestaar af frie Legemer. Derefter gaar han over til et System af Legemer, der er indbyrdes forbundne. Lad Legemerne A, B, $C\cdots$ virkelig faa Bevægelserne a, b, $c\cdots$, medens de, hvis de var frie, af de virkende ydre Kræfter vilde faa Bevægelserne a', b', $c'\cdots$. Man kan nu tænke sig Bevægelsen a sammensnt af a' og en Bevægelse α, b af b' og $\beta\cdots$. Systemet vil derfor bevæge sig som et System af frie Partikler paavirkede af Kræfterne $(Aa, A\alpha)$, $(Bb, B\beta)\cdots$. Efter Princípet vil nu Kræfterne $A\alpha$, $B\beta,\cdots$ holde hinanden i Ligevægt og derfor ikke paavirke Bevægelsen af Tyngdepunktet. Dette bevæger sig altsaa som om Legemerne var frie, og i det Tilfælde er Sætningen bevist forud.

Vi skal nu gaa over til d'Alemberts Stilling til den levende Krafts Princip. Dette Princip gaar væsentlig tilbage til Huygens'

Digitized by Google

Løsning af Problemet om Svingningsmidtpunktet for et Pendul. Her havde man jo kun et specielt Tilfælde, men det blev snart opfattet som et til en vis Grad almengyldigt Princip, der særlig af Bernoullierne blev anvendt paa en stor Række Opgaver. Men Begrundelsen var alt andet end mekanisk. Hele Spørgsmaalet stod nemlig i Forbindelse med den Strid, som i den første Halvdel af det 18de Aarhundrede delte det videnskabelige Europa i to Lejre. Man kan kort sige, at Forskellen mellem dem var den, at den ene mente, at en »Kraft« skulde maales ved Masse gange Hastighed, den anden, at den skulde maales ved Masse gange Hastigheds Kvadrat. Det første blev hævdet af *Descartes*, det andet af *Leibnitz*. Særlig for den sidste stod det i Forbindelse med hele hans filosofiske Opfattelse af Verden som et af Skaberen optrukket Uhrværk, hvor da særlig den levende Kraft skulde være konstant. Englænderne holdt paa Descartes, Tyskerne paa Leibnitz, medens Franskmændene var delte. Det er saaledes bekendt, at Voltaire — hvis filosofiske Opdragelse var sket i England — var Cartesianer, medens hans Veninde, Marquise du Chatelier, var en ivrig Tilhænger af Leibnitz. Da d'Alembert skrev sin »traité« var Striden endnu staaende, saa han kunde saa at sige ikke undgaa at udtale sig derom. Han gør det imidlertid paa den Maade, at han (i Indledningen) viser Problemet fra sig, og siger, at det har ingen mekanisk Interesse, da man i Mekaniken kun skal interessere sig for de Bevægelser, som følger af Kræfternes Paavirkning. Derimod giver han i den sidste Del af sin »traité« et virkeligt Bevis for Principet, som i hvert Fald er almengyldigt for faste Legemer — medens som sagt Begrundelsen hos Bernoullierne endnu var væsentlig filosofisk.

Han begynder med at antage, at der ingen ydre Kræfter virker. Det er da først klart, at den levende Kraft bliver uforandret, naar

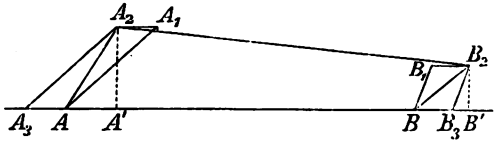


Fig. 3.

Partiklerne er frie, thi da bliver hver enkelt Hastighed uforandret. Dernæst betragtes to Partikler, A og B, der er forbundne (Fig. 3).

Digitized by Google

Lad os antage, at disse Partikler, hvis de var frie, vilde have Hastigheder fremstillede ved AA_1 og BB_1, medens de paa Grund af den faste Forbindelse faar Hastigheder fremstillede ved AA_2 og BB_2. De sidstnævnte Hastigheder er nu Resultanter af de førstnævnte sammen med de fra Forbindelsen hidrørende Kræfter, der vilde give Hastigheder AA_3 og BB_3. Men disse sidste skal holde Systemet i Ligevægt, hvortil kræves:

1) AA_3 og BB_3 maa virke langs AB i modsatte Retninger,
2) $A \cdot AA_3 = B \cdot BB_3$ (se Side 122).

Nu kommer det an paa at bevise

$$A \cdot AA_1^2 + B \cdot BB_1^2 = A \cdot AA_2^2 + B \cdot BB_2^2. \qquad (3)$$

Men antages Forbindelsen at være fast, saa er $A_2B_2 = AB$. Er AA' og BB' Projektionerne af AA_2 og BB_2 paa Linien AB, faar man deraf (udledt som nutildags): $AA' = BB'$.

Endvidere har man efter Geometrien:

$$AA_1^2 = AA_2^2 + AA_3^2 + 2 \cdot AA_3 \cdot AA',$$
$$BB_1^2 = BB_2^2 + BB_3^2 - 2 \cdot BB_3 \cdot BB'.$$

Heraf faar man

$$A \cdot AA_1^2 + B \cdot BB_1^2 = A \cdot AA_2^2 + B \cdot BB_2^2$$
$$+ A \cdot AA_3^2 + B \cdot BB_3^2 + 2 \cdot AA' (A \cdot AA_3 - B \cdot BB_3).$$

Her forsvinder det sidste Led paa Grund af Betingelsen (2), saa at man faar

$$A \cdot AA_1^2 + B \cdot BB_1^2 = A \cdot AA_2^2 + B \cdot BB_2^2 + A \cdot AA_3^2 + B \cdot BB_3^2. \qquad (4)$$

Men nu forudsættes det, at Forbindelseskræfterne ikke virker pludselig (som ved Stød), men kontinuerligt. Deraf følger, at man kan udelade Kvadraterne paa AA_3 og BB_3 i Forhold til de øvrige Led, og derved gaar (4) over til (3).

Paa den Maade ses det, at de Forbindelseskræfter, der optræder ved et fast Legeme, ikke vil forandre den levende Kraft (d'Alembert forstaar ved levende Kraft som alle paa den Tid Σmv^2).

Derefter gaar han over til det Tilfælde, at Systemet er paavirket af ydre kontinuerlige Kræfter. Han betragter et System med flere Partikler, men det er tilstrækkeligt at betragte en enkelt, thi

Digitized by Google

efter den første Del af Beviset kan han se bort fra Forbindelseskræfter (se Fig. 4). Lad nu en Partikel A i et vist Tidselement dt gaa fra B til A; hvis ingen Kraft paavirkede den, vilde den i det næste Tidselement dt gaa fra A til O, hvor $BA = AO$. Men hvis den ydre Kraft alene vilde bringe den i Tiden dt fra A til D,

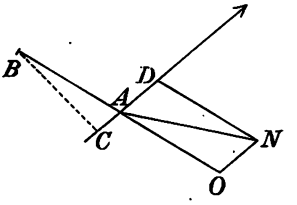


Fig. 4.

kommer den ved sin virkelige Bevægelse i samme Tid fra A til N, bestemt ved et Parallelogram. Er C Projektionen af B paa Kraftens Retningslinie, har man:

$$AN^2 = AB^2 + AD^2 + 2AD \cdot AC. \qquad (5)$$

Men da Kraften virker kontinuert, kan Leddet AD^2 udelades, saa at

$$AN^2 = AB^2 + 2AD \cdot AC$$

eller

$$A \cdot AN^2 - A \cdot AB^2 = 2A \cdot AC \cdot AD. \qquad (6)$$

Men her staar i Virkeligheden den sædvanlige Form for den levende Krafts Princip. Produktet paa højre Side kalder vi efter Coriolis det udførte Arbejde, men kaldes her: Virkningen af Kraften (l'effet de la force). Af (6) følger blandt andet, at den levende Kraft vil bevares ved elastiske Legemers Sammenstød.

Hertil kommer endnu en Ting. Den oprindelige Ligning d'Alembert opstiller er Sætning (4). Denne Ligning er imidlertid intet andet end Carnots Sætning. Han er ganske vist ikke klar over Sætningens Omfangsgyldighed, men han citerer selv Sætningen omend ikke ganske tydeligt. Og Carnot, der første Gang opstillede Sætningen med den nu brugte Betegnelsesmaade i sin »principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement« 1803, var heller ikke paa nogen Maade klar over dens Omfang.

Som man ser, har d'Alembert ved disse Betragtninger paa lidt nær naaet ligesaa meget som det, der findes i senere eller nuvæ-

Digitized by Google

rende Lærebøger i Mekanik. Men der er naturligvis at bemærke, at d'Alembert stadig tænker sig Forbindelserne bragte tilveje ved Hjælp af Snore eller Stænger, hvad der er en noget for snever Opfattelse. Men ikke destomindre forekommer det mig, at Mekanikens Historikere ikke har vist d'Alembert fuld Retfærdighed paa dette Punkt. *Lagrange,* hvis klare og overlegne historiske Oversigter i hans »mécanique analytique« har paavirket alle senere Forf., end ikke nævner d'Alembert paa dette Sted. Det samme er Tilfældet med *Mach* i hans: »Die Mechanik in ihrer Entwickelung«, og med *A. Voss* i hans Encyklopædiartikel over Mekanikens Principer. Kun *Montucla* nævner i sin »histoire des Mathématiques« (Bd. III, 1802), at d'Alembert har bevist Princípet i en Del Tilfælde, men her maa det bemærkes, at disse Tilfælde er de hyppigst forekommende af de, hvor Princípet er gyldigt; thi det er jo ikke almengyldigt i den rene Rationel Mekanik, hvor thermiske og andre Effekter lades ude af Betragtning. At d'Alembert ovenikøbet har Carnots Sætning i samme Omfang som Carnot selv, har jeg intet Sted set fremhævet.

Ved det tredie mekaniske Princip, nemlig Dynamikens Momentsætning, kan vi fatte os kortere. Det findes ikke i hans »traité« men først i hans »Recherches sur la précession des equinoxes« fra 1749 eller mere overskueligt i en senere Afhandling: »Du mouvement d'un corps quelconque animè par des forces quelconques« fra 1761. Af den — og allerede i »Recherches« — ser man, at han selv har indset Nytten af at bruge retvinklede Koordinater. Denne Behandlingsmaade blev først systematisk fremstillet af *Maclaurin* i hans »treatise of fluxions« fra 1742. D'Alembert havde allerede denne Bog i Hænde, da han udgav sin »traité«, hvad man ser af en Fodnote i denne Bog, men det er som sagt først senere, at han er bleven paavirket af den.

Først maa det bemærkes, at han opstiller den statiske Momentsætning i den nu sædvanlige Form: $\Sigma(xY - yX) = 0$. Ganske vist reducerer han Kraftsystemet paa en anden Maade end nutildags, idet han først samler alle de med X-aksen parallele Kraftkomponenter til én Enkeltresultant o. s. v., men dette gør ingen Forskel i Anvendelsen. Beviset sker simpelt hen ved at anvende den sædvanlige Ligevægtsbetingelse for en Vægtstang paa Legemet, der antages drejelig om en af Koordinatakserne.

Digitized by Google

Idet han dernæst gaar over til det dynamiske Problem, bemærker han først, at et fast Legemes Bevægelse altid kan reduceres til Bevægelsen af et i Legemet fast Punkt og Drejning om dette Punkt. Han siger meget rigtigt, at dette Punkt kan vælges vilkaarligt, men at det bekvemmest vælges i Tyngdepunktet.

Ligevægt for de tabte Kræfter kan nu udtrykkes ved de selvsamme 6 Bevægelsesligninger, som efter Lagrange findes i vore moderne Lærebøger. Den eneste Forskel er den, at han ikke konsekvent bruger Navnene x, y, z for Koordinaterne, og at han i Stedet for Masseelementet dm bruger det vidløftige Udtryk $\frac{G\theta^2}{2a}$, hvor G er Elementets Vægt, a den Vej, en Partikel vilde falde frit i Tiden θ.

Heller ikke her nævner Lagrange d'Alemberts Navn i sin historiske Redegørelse for Principet. Her var det ganske vist ikke saa nødvendigt, da Principet var opstillet tidligere af D. Bernoulli og Euler (1746) og af d'Arcy (1747). Men det maa bemærkes, at d'Alembert — i Modsætning til de andre nævnte — opstiller Principet paa selvsamme Maade som Lagrange selv gør det. Ingen senere historiske Forfattere, heller ikke Montucla, nævner d'Alembert i denne Forbindelse. Men i den nyeste Tid giver bl. a. *Appell* i sin »mécanique« d'Alembert fuld Honnør for Opstillingen af Principet.

Erindrer man endnu, at d'Alembert ligesaavel danner tabte Kræfter ved Stødkræfter som ved kontinuerlige Kræfter, ligesaavel ved Vædsker som ved faste Legemer, er det berettiget at sige, at med d'Alembert er Udviklingen af alle de Principer, hvorpaa Mekaniken opbygges, fuldt færdig. Ganske vist er der en Gruppe af Principer, som d'Alembert ikke giver sig af med, nemlig de saakaldte Variationsprincipper, men disse staar dog i anden Række i Forhold til de ovennævnte.

Men i Udtryksmaaden er d'Alembert endnu gammeldags; her har Lagrange gjort et uhyre Fremskridt — at han ogsaa paa andre Maader har paavirket hele den senere Udvikling, behøver jeg ikke at fremhæve.

Jeg skal endnu sige lidt om den Stilling, Tiden efter d'Alembert har taget til hans Princip. Det vigtigste herom er i Virkeligheden sagt — det vigtigste er det, at Lagrange ved at forbinde d'Alemberts Princip med de virtuelle Hastigheders Princip har reduceret saa at sige hele Mekaniken til den ene Ligning:

Digitized by Google

$$\Sigma m\left[\left(X - m\frac{d^2x}{dt^2}\right)\delta x + \left(Y - m\frac{d^2y}{dt^2}\right)\delta y + \left(Z - m\frac{d^2z}{dt^2}\right)\delta z\right] = 0.$$

Erindrer man Vidtløftighederne hos de tidligere Forfattere, forstaar man den Stolthed, hvormed Lagrange i Indledningen til sin »mécanique analitique« (1788) siger: »dette er en Mekanik uden Figurer«. Særlig ved i den nævnte Grundligning at indføre Parametre eller generaliserede Koordinater, er Lagrange bleven Grundlægger af hele den senere analytiske Mekanik.

Men i den mere elementære Mekanik er d'Alemberts Princip i den nyeste Tid snarere trængt noget tilbage. Medens endnu Sturm, Poisson, og tildels endnu Julius Petersen, bygger hele de faste Legemers Mekanik paa d'Alemberts Princip, saa er dette i mange moderne Lærebøger, f. Eks. i Appell's »traité de mécanique« skudt tilbage til allersidst som en Slags Afslutning, eller snarere som en Indledning til den rent analytiske Mekanik. Alle mekaniske Opgaver kan jo nemlig løses ved Hjælp af de tidligere omtalte Principer. Den Brug, man nutildags er mest tilbøjelig til at gøre af d'Alemberts Tankegang, er én, som hverken interesserede d'Alembert eller Lagrange, nemlig til Bestemmelse af de kinetiske Spændinger; disse er nemlig det selvsamme som de tabte Kræfter.

Men der er én Ting endnu, som har beskæftiget Eftertiden, nemlig Spørgsmaalet, om d'Alemberts Princip er logisk bevisligt ud fra Statikens og Punktmekanikens Forudsætninger — eller om det involverer en fysisk Forudsætning. Men hermed maa man ikke glemme, at da alle mekaniske Opgaver lader sig løse uden explicite Brug af d'Alemberts Princip, medens dette omvendt kan lede til alle mekaniske Principer, er Spørgsmaalet i Virkeligheden det, om man behøver et nyt fysisk Princip ved at gaa over til Legemers Dynamik. Man skulde ikke tro, at der kunde være nogen Uenighed herom, men tilsyneladende er Meningerne delte. Hvad d'Alembert selv angaar, er det udenfor al Tvivl, at han mente, at Princippet var rent logisk begrundet. Det samme mente han ogsaa om alle andre mekaniske Grundsætninger; han giver f. Eks. et Quasi-Bevis for Kræfternes Parallelogram. Ogsaa Lagrange var temmelig sikkert af samme Mening. Det laa til denne Periode — hvor Klassicismen viste sig ikke mindre tydeligt i Videnskaben end paa Filosofiens og andre Omraader — at mene, at have naaet et Højdepunkt, hvor vel ikke alle Gaader var løste, men hvor man dog principielt

Digitized by Google

troede, at de kunde løses ved den menneskelige Fornuft alene. Men de tabte Kræfter hos d'Alembert er det samme som det, vi nu kalder de ved Bevægelsen opstaaede kinetiske Spændinger, og det, som det kommer an paa, er om disse holder hinanden i Ligevægt. At dette maa være en fysisk Forudsætning, synes mig egentlig ganske selvfølgeligt, men som sagt, tilsyneladende findes der betydelige Forfattere, der er af en anden Mening. Saaledes siger f. Eks. Voss i sin Encyklopædiartikel om Mekanikens Principer, at d'Alemberts Princip er »eine reine logische Überlegung«. Men Sagen er den, at Voss mener, at da al Hvile er relativ, maa de Ligevægtsbetingelser, der gælder for et ubevægeligt System, ogsaa være gyldige for et System i Bevægelse, naar dette holdes stille et Øjeblik. Da man nu i Statiken allerede har forudsat, at de indre Kræfter holder hinanden i Ligevægt, maa det ogsaa gælde dynamisk, forstaaet paa den nævnte Maade. Men derfor betyder Opfattelsen hos Voss ikke andet end, at han lægger Forudsætningen ind paa et tidligere Sted end andre. Vil man spørge om, til hvem en saadan Forudsætning gaar tilbage, er Svaret naturligvis: Newton, der i sin »lex tertia« postulerer Lighed mellem Aktion og Reaktion. At der kunde være Forskel mellem en statisk og en dynamisk Opfattelse af et saadant Princip, har han neppe tænkt paa.

Der er imidlertid én Ting endnu at lægge Mærke til. Man ser dette maaske tydeligst ved at benytte Lagranges Form for Princípet, og jeg vil for Kortheds Skyld alene betragte en enkelt Partikel. I det Tilfælde kan der jo ikke være Tale om indre Spændinger, men der er en anden Forudsætning. Lad Punktet være bundet ved Betingelsesligningen

$$f(x, y, z, t) = 0. \qquad (a)$$

Denne skal tages sammen med Lagranges Grundligning

$$\left(X - m\frac{d^2x}{dt^2}\right)\delta x + \left(Y - m\frac{d^2y}{dt^2}\right)\delta y + \left(Z - m\frac{d^2z}{dt^2}\right)\delta z = 0. \qquad (b)$$

I Komponenterne X, Y, Z skal til at begynde med ogsaa medtages alle Reaktionerne. Men, som Lagrange siger, kan disse udelades, naar der ikke findes Gnidning, saafremt δx, δy, δz forbindes ved Ligningen:

$$\frac{\partial f}{\partial x}\delta x + \frac{\partial f}{\partial y}\delta y + \frac{\partial f}{\partial z}\delta z = 0. \qquad (c)$$

Digitized by Google

Lagrange nævner forøvrigt ikke noget om Gnidning, men gaar ud fra, at den ikke findes.

Men dette betyder mekanisk, at Reaktionens Arbejde forsvinder ved en Forskydning i Overensstemmelse med (a), eller at Reaktionen er vinkelret paa Fladen (a) i den Stilling, den har i Øjeblikket. Heri ligger den følgende Forudsætning.

Ved et Systems Bevægelse har de optrædende kinetiske »glatte« Reaktioner samme Retning — men naturligvis ikke samme Størrelse — som ved den tilsvarende statiske Opgave for t konstant.

Jeg kan ikke se, at denne Forudsætning er mindre værd at notere end den første, der udtalte, at de indre kinetiske Spændinger skal holde hinanden i Ligevægt. Jeg synes vel, den er ligesaa plausibel, men ikke mere plausibel, end den første.

Der kan endnu være Tale om at nævne de forskellige Maader, hvorpaa man har forsøgt at udtale d'Alemberts Princip. Man har saaledes givet en Kraft med Komposanterne $-m\frac{d^2x}{dt^2}, -m\frac{d^2y}{dt^2}, -m\frac{d^2z}{dt^2}$ et særligt Navn, og kaldt den Inertikraften og benyttet den ved Principets Formulering. *Boltzmann* har i sin »Vorlesungen über die Principe der Mechanik« udtalt Princípet paa fire forskellige indbyrdes dog ikke meget afvigende Maader. Disse Forskelligheder er dog rent formelle. Ret interessant er den Maade, hvorpaa *Hamel* i sin »Elementare Mechanik« (1912) har udtalt Princípet, nemlig: Naar de Kræfter, som angriber et System, er af den Beskaffenhed, at de vilde give det en øjeblikkelig Forskydning, der er i Overensstemmelse med alle kinematiske Betingelser, saa faar Systemet denne Forskydning.

Denne Formulering viser, hvor plausibelt Princípet er. Men Hamel hævder dog stærkt, at Princípet ikke er en logisk Følge af tidligere Sætninger i Punktmekaniken.

Digitized by Google

Øjet som fysisk Apparat *).

Af

M. Tscherning.

Mine Damer og Herrer!

Jeg skal have den Ære iaften at fortælle Dem lidt om Øjet, opfattet som et fysisk Apparat. Til at begynde med vil jeg bede Dem kaste et Blik paa Fig. 1, der forestiller et horisontalt Snit af Øjet. Jeg tror nok det er et af de bedste, der existerer. Den skyldes en af

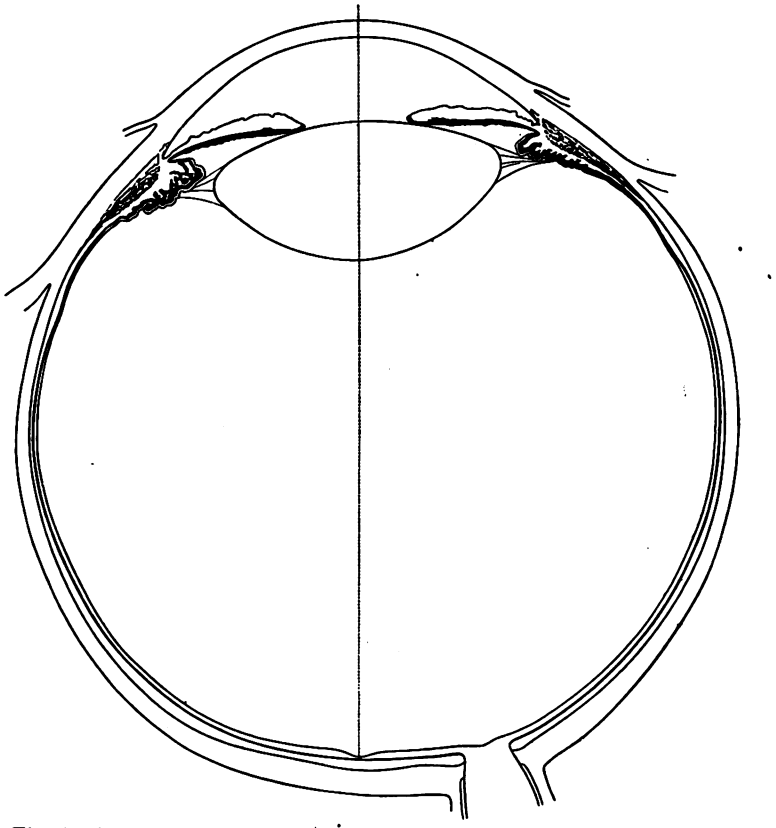


Fig. 1. Tversnit af det menneskelige Øje. Efter Dr. E. Schneider.

*) Foredrag holdt i Selskabet for Naturlærens Udbredelse Onsdag d. 26. Marts 1919.

Digitized by Google

mine tidligere Assistenter, Dr. Schneider. Det hænder af og til, heldigvis meget sjældent, at man kan blive nødt til at fjerne et sundt Øje, naar der nemlig bagved sidder en ondartet Svulst, som man ikke kan komme til paa anden Maade. Vi fik et saadant Tilfælde ind paa Rigshospitalets Øjenafdeling og benyttede Lejligheden til at fremstille denne Tegning. Saa snart Øjet var bleven taget ud, blev det frosset ved Hjælp af flydende Kulsyre. Derefter blev det halveret og Snitfladen blev fotograferet, inden Øjet fik Tid til at tø op. — De ser, hvorledes Øjet sidder fast paa Synsnerven som et Æble paa sin Stilk. Øjets Vægge dannes fortil af den klare og gennemsigtige Hornhinde, Cornea, bagtil af Senehinden, der er hvid og uigennemsigtig. Indenfor Hornhinden findes et Hulrum, der betegnes som Øjets forreste Kammer; det er fyldt med en vandagtig Vædske, Kammervandet. Den bageste Væg af Kammeret dannes af Regnbuehinden, Iris; det er den Hinde, der giver Øjet sin Farve. I Midten af den er der et rundt Hul, Pupillen, gennem hvilket Lyset har Adgang til Øjet. Regnbuehinden fortsætter sig bagtil i Aarehinden, der beklæder hele den indvendige Side af Senehinden og kun er afbrudt paa det Sted, hvor Synsnerven træder ind i Øjet. Fra dette Sted straaler Synsnervens Fibre ud i alle Retninger. De danner den saakaldte Nethinde, der beklæder Aarehinden indvendig og er den egentlige lysfølsomme Del af Øjet. Aarehinden er, som dens Navn antyder, fuld af Blodkar. Vævet imellem Karrene er mørktfarvet og paa den indvendige Side af den, mellem den og Nethinden ligger der et Lag af Celler, der er fulde af smaa sorte Korn. Dette Cellelag fortsætter sig frem paa Bagsiden af Regnbuehinden; det er næsten uigennemtrængeligt for Lyset og tjener til at beskytte Nethinden mod alt andet Lys end det, der trænger ind gennem Pupillen. — Fortil fortykker Aarehinden sig og danner det saakaldte Ciliarlegeme. Fortykkelsen skyldes tildels, at der paa dette Sted ligger indlejret en Muskel, Ciliarmusklen; den sidder fortil fast paa Senehinden og dens Fibre forløber for største Delen i Øjets Længderetning, de inderste af dem har dog et mere uregelmæssigt Forløb. Men desforuden danner Ciliarlegemet en Krans af Fremspring rettet mod Øjets Axe. Paa og mellem disse Fremspring er Linsen ophængt ved Hjælp af et Baand, dannet af fine Traade, den saakaldte Zonula. Lige ved Kanten af Pupillen ligger Linsen i Berøring med Regnbuehinden; længere ude er den skilt fra den ved et med Vædske fyldt Hulrum, Øjets bageste Kam-

Digitized by Google

mer. Hele Rummet mellem Linsen og Nethinden er udfyldt af en klar Gelé, Glaslegemet.

Det er en bekendt Sag, at Øjet er analogt til det fotografiske Camera. Lyset brydes i Hornhinden og Linsen, saa at der paa Nethinden dannes et lille omvendt Billede af Omverdenen. Fra Nethinden ledes Synsindtrykket gennem Synsnerven op til Hjernen. Det var først ved Kepler's og Descartes Arbejder, at man blev klar over dette Forhold. Man havde tidligere tænkt sig, at Synet havde sit Sæde i Linsen og den nye Opfattelse havde i Begyndelsen nogen Vanskelighed ved at trænge igennem. Jesuiten Scheiner viste imidlertid, at der virkelig danner sig et Billede paa Nethinden; han tog et Dyreøje og klippede et Hul i Sene- og Aarehinden. Naar han saa rettede Øjet mod et Lys, kunde man tydelig se det lille omvendte Billede paa Nethinden. Det vil maaske undre Dem, at en Jesuit kom til at give sig af med den Slags Ting. Det er imidlertid ikke saa mærkeligt; adskillige Arbejder over Optik fra det 17. og 18. Aarhundrede bærer paa Titelbladet Jesuiternes berømte Mærke E societate Jesu. Det kom af, at i de katolske Lande havde Jesuiterne næsten al Undervisningen paa deres Hænder og de var derfor omtrent de eneste, der havde Instrumenter til deres Raadighed.

For at man skal kunne se skarpt, er det altsaa nødvendigt, at der paa Nethinden dannes et skarpt Billede af det, man ser paa. Det normale Øjes Forhold er afpasset saaledes, at Billedet af fjerne Genstande falder paa Nethinden. Det er altsaa let at forstaa, at man kan se fjerne Ting skarpt, men hvorledes gaar det til, at man ogsaa kan se nære Genstande tydeligt? Saa snart man var bleven klar over Billeddannelsen i Øjet, stod det ogsaa klart, at der maatte ske en Forandring med Øjet, naar dette skulde se skarpt nærved. Man kaldte denne Forandring Øjets Akkommodation, men det varede længe, inden man blev klar over, hvori denne Forandring egentlig bestod. Nogle mente, at Øjeaxen blev længere under Akkommodationen, andre at Hornhindens Krumning forøgedes, atter andre antog, at Forandringen skyldtes Linsen, enten at denne flyttedes fremad, eller at den blev mere hvælvet. Spørgsmaalet blev endelig afgjort i Midten af forrige Aarhundrede ved en Iagttagelse, som først blev gjort af den tyske Chirurg Langenbeck og senere blev nærmere studeret af Cramer og Helmholtz.

Hvis De stiller et Lys op i nogen Afstand fra en almindelig Con-

Digitized by Google

vexlinse vil De se, at der foruden det Billede, der skyldes Brydningen af Lyset, ogsaa dannes to Spejlbilleder, et opret fra Linsens Forflade og et omvendt fra Bagfladen. Hvis der er to Lys, dannes der fire Billeder. Afstanden mellem de sammenhørende Billeder (de to Forflade- eller de to Bagfladebilleder) afhænger af Linsens Krumning; tager man en stærkere krummet Linse, vil Billederne rykke nærmere sammen. I Øjet har vi tre brydende Flader; vi faar altsaa 6 Billeder. Det er let at skelne disse Billeder fra hverandre: Hornhindebillederne er meget lysstærkere end Linsebillederne; af disse er de, der skyldes Forfladen store og diffuse — forreste Linseflade er den af de tre Plader, der har den svageste Krumning — medens de fra bageste Linseflade er smaa og skarpe; til Forskel fra de andre er disse sidste omvendte, da Linsens Bagflade virker som Concavspejl. Billederne blev først iagttagne af den czekkiske Fysiolog Purkinje. Jeg beklager, at jeg ikke kan vise Dem disse Billeder og deres Forandring ved Akkomodationen; havde jeg kun haft en 5—6 Tilhørere, vilde det nok kunne have ladet sig gøre, men det er umuligt at demonstrere dem for en stor Forsamling. — Under Akkommodationen ser man Linsebillederne nærme sig hverandre (Fig. 2);

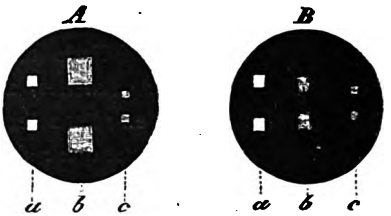


Fig. 2. Øjets Spejlbilleder. To Lamper. *A* Hviletilstand, *B* Akkommodation. *a* Hornhindebillederne, *b* forreste, *c* bageste Linsebilleder. Efter Helmholtz.

denne Iagttagelse viser utvetydigt, at Akkommodationen skyldes en Forøgelse af Linsens Krumning.

Men hermed var Spørgsmaalet om Akkommodationens Mekanisme ikke løst endnu. Hos unge er Linsesubstansen ganske blød, Linsen skylder nærmest sin Form til den elastiske Kapsel, hvori denne Substans er indesluttet. Det er let nok at vise, at man f. Eks. ved et Træk paa Zonula-Baandet, hvori Linsen er ophængt, kan forandre Linsens Form. Spørgsmaalet bliver da, om der i Øjets Indre findes

Digitized by Google

Muskler, der er i Stand til at fremkalde den Forandring af Linsen, der svarer til Akkomodationen. Foruden Ciliarmusklen er der i Øjets Indre endnu to andre Muskler; de er beliggende i Regnbuehinden og besørger Pupillens Sammentrækning og Udvidelse. Man tænkte sig i Begyndelsen, at disse Muskler kunde spille en Rolle for Akkommodationen, indtil den tyske Øjenlæge v. Graefe iagttog en Patient, der ved et Ulykkestilfælde havde faaet Regnbuehinden revet ud af det ene Øje; der var ikke noget i Vejen med hans Akkommodation, hvoraf man kunde slutte, at Regnbuehinden ingen Rolle spiller for Akkommodationen, og at denne maa tilskrives Ciliarmusklen.

Helmholtz forsøgte nu at forklare Akkommodationens Mekanisme ud fra følgende Ræsonnement. Linsen er saavel fortil som bagtil omgivet af Vædsker, som ikke vel kan antages at udøve nogen direkte Indflydelse paa Linsens Form; en saadan kan derfor vanskelig tænkes at finde Sted undtagen gennem Zonula, det Baand, hvori Linsen er ophængt. Men et Træk paa Zonula maatte virke affladende paa Linsen. Helmholtz tænkte sig derfor at Zonula altid var spændt og udøvede et stadigt Træk paa Linsen, som saaledes holdtes affladet hele Livet igennem. Men naar man anstrengte sig for at see nærved, antog han, at Cilarmusklen kontraherede sig og Resultatet af denne Kontraktion skulde være, at Zonula slappedes, saa at Trækket paa Linsen ophørte og denne fik Lov til at nærme sig sin naturlige Form, der altsaa skulde svare til den maximale Akkommodation. A priori synes Forklaringen ikke meget bestikkende og den passer, som vi skal see, ikke med de anatomiske Forhold — men man havde ikke noget bedre, og dens Ophavsmands berømte Navn gjorde at denne Forestilling — Ansicht som Helmholtz kalder den — blev ophøjet til en Theori, om hvilket det, i det mindste i Tyskland, ikke var tilladt at tvivle. Hvor den ikke passede, søgte man at forbedre den. Det var saaledes ikke nemt at forstaa, hvorledes Ciliarmusklen skulde kunne slappe Zonulatraadene. De sætter sig fast paa Ciliarlegemet nær ved Musklens forreste Ende, der ansaaes for dens punctum fixum og vistnok ogsaa er det. Men de inderste Fibre af Musklen har et uregelmæssigt Forløb, saa det er vanskeligt at sige, hvordan de virker, og man tænkte sig saa, at de dannede en Art Ringmuskel, der ved sin Contraction maaske nok kunde tænkes at slappe Zonula og saaledes tillade Linsen at nærme sig Kuglefiguren, som mentes at være dens egentlige Form. Der var, da jeg begyndte at give mig af

Digitized by Google

med disse Spørgsmaal, i hele den oftalmologiske Verden knap nok nogen, der tvivlede om denne Theori's Rigtighed — cette théorie que nous avions tous apprise et jamais comprise, som man senere sagde om den.

Nu maa jeg føre Dem halvtredsindstyve Aar tilbage i Tiden. Der var nemlig det mærkelige, at der, længe før Cramer og Helmholtz, var bleven gjort Iagttagelser der ikke alene beviste, at Akkommodationen maatte skyldes en Formforandring af Linsen, men ogsaa gav nærmere Oplysninger om denne Forandrings Natur. Men disse Iagttagelser var gaaet ganske upaaagtede hen. De skyldtes den engelske Læge Thomas Young,[1]) en af de fineste og mest omfattende Intelligenser, der nogensinde har seet Lyset. En af hans Beundrere — jeg tror det var Tyndall — har udtrykt sig om ham paa følgende, maaske lidt søgte Maade: »Jeg vil tænke mig en Pyramide paa 1000 Fods Højde. Denne Pyramide skal forestille Sir Isaac Newton's Intelligens. Saa vil jeg tænke mig en Pyramide paa 500 Fod, den skal forestille Th. Young's Intelligens. Hvis jeg nu tænker mig en Linie trukket mellem Toppen af de to Pyramider, saa vil jeg sige, at jeg ikke kan see, at nogen Intelligens, født paa britisk Jordbund, kan naa op til den Linie.« — Naar jeg har kaldt Young Læge, er det for saa vidt rigtigt, som han var uddannet og praktiserede som saadan, men jeg kunde ligesaavel have kaldt ham Fysiker — han beklædte en Tid Pladsen som Professor i Fysik ved Royal Institution, den samme Stilling som Faraday senere indtog, — og jeg kunde ogsaa have kaldt ham Filolog, det var saaledes ham, der læste de første Hieroglypher. — Naar han aldrig er bleven egentlig populær, skyldes det to Omstændigheder. Den ene var hans Maade at arbejde paa. Han var en af Videnskabens Pionerer, han lagde Grundstenen til mere end en Bygning og overlod saa Opførelsen af Bygningen til andre. Young var den første der genoptog Huyghens Idee, at Lysets Forplantning skyldtes en Bølgebevægelse i Ætheren, efter at denne Theori i hundrede Aar havde været fortrængt af Newton's Emanationstheori; ved at indføre Interferensprincipet viste Young Vejen, ad hvilken man skulde gaa, men det blev Fresnel og ikke Young, der skabte den højere Optik. Det var Young der læste de første Hieroglypher, men det blev Cham-

[1]) On the mechanism of the eye. Phil. transact. 1807.

Digitized by Google

pollion, der skabte Ægyptologien. I Frankrig plejede vi at kalde Young den fysiologiske Optiks Fader. Foruden hans Arbejder over Akkommodationen skylder vi ham Opdagelsen af Astigmatismen, en af de hyppigste Fejl, det menneskelige Øje lider af, samt Trefarvetheorien, Iagttagelsen af det Faktum, at man kan vælge tre Farver saaledes, at man ved at blande dem kan fremstille en hvilken som helst anden Farve. Den sidste Iagttagelse har faaet praktisk Betydning for Farvetryk og Farvefotografi.

Den anden Grund til Young's ringe Popularitet var, at han synes at have havt den Forestilling, at alle andre var lige saa intelligente som han selv: han er i den Grad concis i sin Udtryksform, at han ofte er meget vanskelig at forstaa. Han yndede det Paradoks, at hvad ét Menneske kan gøre, kan alle andre ogsaa gøre, en Idee, som maaske skyldtes, at hans Familie tilhørte Kvækernes Sekt og han saaledes var bleven opdraget i deres Anskuelser. Arago fortæller i den Eloge, han holdt over Young i Académie des Sciences, at han engang, da han som ungt Menneske studerede i Göttingen, var gaaet i Cirkus med sine Kammerater. De saa en Berider galoppere rundt paa Ryggen af to Heste. Kammeraterne drillede Young og sagde, at naar Berideren kunde gøre det, maatte han altsaa ogsaa kunne gøre det. «Det kan jeg ogsaa« sagde Young; han tog nogle Timer hos Berideren, og drev det virkelig til at gøre Kunststykket efter.

Jeg kan ikke her gengive alle de smukke Forsøg, som Young anstillede for at studere Akkommodationens Mekanisme, men jeg skal forklare Dem et af dem. Linser, begrænsede af Kugleflader, har, som De véd en Fejl, der betegnes som sfærisk Aberration, og som bestaar i, at Brydningen bliver stærkere mod Randen. Lad os tænke os at et fjernt lysende Punkt sender Straaler til en Linse og lad os forudsætte, at Linsen ingen Aberration har. Alle Straalerne vilde da samles i et Punkt. Stiller vi en Skærm op paa det rigtige Sted, faar vi et skarpt Billede af Punktet; staar Skærmen inden- eller udenfor dette Sted, dannes der en Lysplet, i hvilken Lyset er regelmæssig fordelt overalt. Med en almindelig Linse bliver Billedet aldrig skarpt. Stiller man Skærmen op i Centralstraalernes Brændpunkt, har de perifere Straaler allerede krydset Axen og danner en Halo udenom det punktformede Billede. Rykker man Skærmen udefter, faar man en Lysplet, hvor Lyset er concentreret i Midten, og flytter man den indefter,

Digitized by Google

faar man Lyspletten omgivet af en stærkere lysende Ring. Man seer jo nemlig paa Fig. 3, at udenfor Brændpunktet ligger Straalerne tættest i Midten og indenfor Brændpunktet tættest i Periferien. — Da Aberrationen kommer af, at Brydningen er for stærk henimod Periferien, kan man korrigere den ved at lade Linsen flade sig noget af henimod Randen. Driver man det for vidt, kan man faa Feilen overkorrigeret; Fænomenet bliver da vendt om, Lyset er concentreret i Midten af Pletten, naar Skærmen staar indenfor Brændpunktet og den lysende Ring optræder udenfor Brændpunktet. Man kan benytte

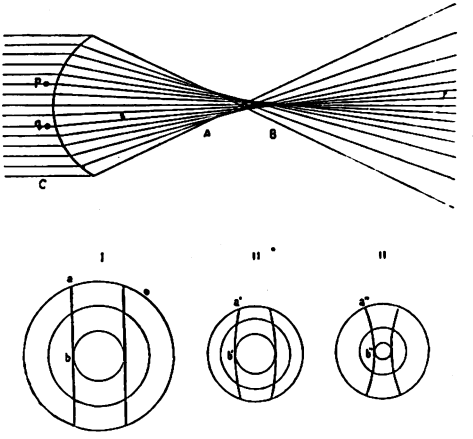


Fig. 3. Sfærisk Aberration.

dette Forhold til at undersøge om et givet Objektiv er over- eller underkorrigeret; men man kan gøre Forsøget endnu mere slaaende ved at holde en tynd uigennemsigtig Stav, en Strikkepind f. Ex., tæt foran Linsen. Man ser da Skyggen af Staven i Lyspletten. Hvis Aberrationen er korrigeret, seer man Skyggen lige, i modsat Fald er den krummet: hvis Aberrationen ikke er korrigeret eller er underkorrigeret vender Skyggen Konvexiteten mod Midten, naar Skærmen staar udenfor Brændpunktet, medens den er konkav mod Midten, naar Skærmen staar indenfor Brændpunktet. Hvis Aberrationen er overkorrigeret, er det modsatte Tilfældet. — Forklaringen af disse Fænomener frembyder ikke nogen Vanskelighed. Tænker man sig Linsens Overflade delt i lige brede koncentriske Zoner, vil de tilsvarende Zoner i Lyspletten aftage i Bredde henimod Randen, naar Skærmen staar in-

Digitized by Google

denfor Brændpunktet, og Skyggen af Staven vil derfor sees konkav mod Midten. Udenfor Brændpunktet tiltager Zonerne i Bredde henimod Randen og Skyggen bliver derfor konvex mod Midten (Fig. 3).

Lad os nu tænke os et menneskeligt Øje og lad os antage, at dette Øje er nærsynet — et Menneske med normale Øjne kan gøre Forsøget ved at sætte en ikke for stærk Convexlinse (c. 4 Dioptr.) foran Øjet. Billedet af et fjernt lysende Punkt vil da danne sig foran Nethinden

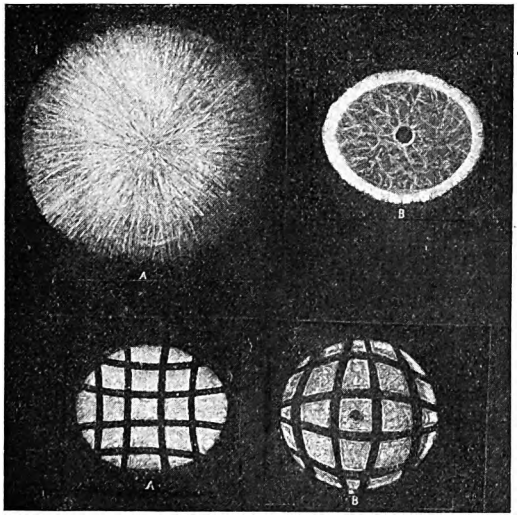


Fig. 4. Foroven: Et fjernt lysende Punkt, seet, *A*, gennem en Convexlinse paa 8 Dioptrier, *B* uden Glas, men idet Iagttageren akkommoderede 8 Dioptrier. Forneden: Skyggen af Naalen sees convex mod Midten i Hviletilstanden, *A*, concav mod Midten under Akkommodation, *B*. Efter Dr. de Lieto Vollaro.

og Punktet vil sees som en Lysplet. Forholdet er ganske det samme som i Eksperimentet med Linsen, naar man stiller Skærmen udenfor Brændpunktet. Hvis Øjet har sfærisk Aberration, som det i Reglen er Tilfældet, vil man altsaa see Lyset stærkest i Midten af Lyspletten, og fører man en Naal tæt forbi Øjet, vil man see dens Skygge convex mod Midten. Undertiden er Aberrationen dog korrigeret, Hornhinden flader sig nemlig noget af mod Randen og denne Affladning kan være saa stærkt udtalt, at Naalen sees lige. Det var saaledes Tilfældet med Youngs Øje.

Digitized by Google

Nu vil jeg antage, at Iagttageren indstiller sit Øje for en ringe Afstand. Man kan bekvemt gøre Forsøget ved at see paa en fjern Lygte gennem en Rude og saa, naar man skal see nærved, see paa en Prik i Ruden. Man seer da en paafaldende Forandring med Lysplet-ten: den viser sig som en lysende Ring der omslutter en mindre belyst Flade og fører man Naalen forbi Øjet seer man Skyggen concav mod Midten (Fig.4). Aberrationen bliver altsaa overcorrigeret under Akkommodationen. Forsøget lykkes kun for unge og bedst for saadanne, som har en stor Pupil. Om fornødent kan man dryppe en Draabe af en Cocainopløsning i Øjet. Den udvider Pupillen og virker ikke stort paa Akkommodationen.

Af denne Iagttagelse drog Young den rigtige Slutning, at Akkomodationen ikke kan skyldes en Forlængelse af Øjets Axe, der aldrig vilde kunne tænkes at fremkalde en saadan Forandring af Straalernes indbyrdes Forhold. Den maa altsaa tilskrives en Formforandring enten af Hornhinden eller af Linsen. Men hvilket af disse to Organer er det, der forandrer sig? Young afgjorde Spørgsmaalet paa en lige saa elegant som sindrig Maade. Han tog et kort Metalrør, i hvis nederste Ende der var indfattet en temmelig stærk Convexlinse, fyldte Røret med Vand og anbragte sit Øje mod den øverste Ende af Røret, saaledes at Hornhinden kom i Berøring med Vandet. Paa denne Maade ophæves Brydningen i Hornhinden, da den er omgivet af Vædske paa begge Sider. Ikke desto mindre saa Young meget godt, da Glaslinsen erstattede Hornhinden. Det viste sig, at Akkommodationen var ganske uforandret. Forsøget viser, at Hornhinden ingen Rolle spiller for Akkommodationen, som altsaa maa skyldes en Forandring af Linsens Form. Det viser endvidere, at Forandringen maa bestaa i, at Linsen hvælver sig i Midten, samtidig med at den afflader sig mod Periferien.

Da jeg i Slutningen af Firserne i forrige Aarhundrede fik fat i Young's Afhandling, som jeg senere udgav paany, fik jeg først et temmeligt stort Arbejde med at finde ud af, hvad han egentlig mente med sine smukke Figurer og sin ofte ret dunkle Text. Det er saaledes karakteristisk, at Udtrykket sfærisk Aberration overhovedet ikke forekommer i hans Afhandling. Saa skulde jeg til at eftergøre hans Forsøg. Det lykkedes mig med de fleste, men enkelte af dem er saa subtile, at til Dato ingen har kunnet gentage dem. Saa supplerede jeg dem med andre Iagttagelser; saaledes at det lykkedes mig direkte at

Digitized by Google

paavise den perifere Affladning af forreste Linseflade ved Iagttagelse af Speilbilledernes Forandring under Akkommodationen. Hvis man nemlig anvender tre Lamper og arrangerer Forsøget saaledes, at Speilbillederne fra forreste Linseflade staar paa en ret Linie ved den øverste Rand af Pupillen, seer man dem under Akkommodationen rykke nedad og stille sig paa en Linie der er convex mod Centrum. (Fig. 5). Tænker man sig, at man havde sex Lamper, saa at man fik sex Billeder, tre foroven og tre forneden, vilde altsaa, under Akkom-

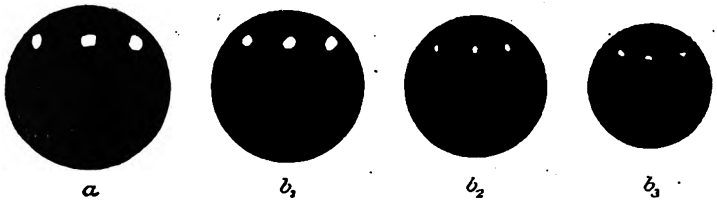


Fig. 5. Spejlbilleder fra forreste Linseflade af tre Lamper, anbragte paa en en vandret Linie. *a* Hviletilstanden, b_1, b_2, b_3 forskellige Grader af Akkommodation.

modationen, de to i Midten komme til at staa hinanden nærmest, hvad der viser, at Krumningen er størst i Midten og aftager mod Randen.

Det forekom mig, at disse Iagttagelser var i directe Modstrid med Helmholtz Anskuelse. Det var galt nok med det stadige Træk paa Zonula, der skulde overvindes ved at Ciliarmusklen slappede denne, men at en saadan Slappelse af Zonula skulde kunne bevirke, at visse Dele af Linsen hvælvede sig, medens andre affladede sig, det forekom mig ret usandsynligt. Det viste sig da ogsaa, at Hypothesen ingenlunde passede til Kendsgerningerne: naar man maaler Linsen efter Døden, under Omstændigheder, hvor Zonula intet Træk kan udøve, skulde den have den Form, der svarer til maximal Akkommodation, men det har den ikke. Dens Form svarer til den, man finder i levende Live under Akkommodationshvilen.

Hvorledes skal man da forestille sig Akkommodationens Mekanisme? Ja, jeg kan ikke sige det med absolut Sikkerhed. Jeg kan kun give Dem den Forklaring, som jeg anseer for den sandsynligste. Det er sikkert nok, at Helmholtz gik ud fra en forkert anatomisk Forudsætning ved at betragte Glaslegemet som en Vædske. Naar man

Digitized by Google

undersøger det nogen Tid efter Døden, er det ganske vist flydende, men i levende Live er det et gelatinøst Legeme af en temmelig stor Consistens. Det er endvidere sikkert, at fortil i Øjet er Aarehinden, Nethinden og Glaslegemet fast sammenvoxede. Ved Ciliarmusklens Contraction trækkes de perifere Dele af Glaslegemet fortil og indad mod Linsen; samtidig spændes de Traade af Zonula, der gaar til Forfladen af Linsen. Paa denne Maade bliver de perifere Dele af Linsen udsat for et Tryk, der paa engang afflader disse Partier og faar den centrale Deel til at hvælve sig. Naar Contractionen ophører, vender Linsen tilbage til sin oprindelige Form, der er den samme, som man finder efter Døden.

Den optiske Forandring, som Øjet kan undergaa som en Følge af Akkomodationen, er meget betydelig: et ungt Menneske kan see skarpt i stor Afstand, og han kan ogsaa, idet han akkommoderer, see skarpt nærmere ved, indtil en Afstand af 8—10 cm. Indenfor hele dette Omraade ser han overalt lige skarpt, det vil sige, den mindste Vinkelafstand, som to Punkter skal have for at kunne sees adskilte, er overalt den samme, omtrent et Minut. Hvis man har med fine Arbejder at gøre, staar man sig imidlertid ved at holde dem nær til Øjet. Hvis to Punkter ligger i en bestemt Afstand fra hinanden, bliver jo nemlig deres Vinkelafstand større, jo mere man nærmer dem til Øjet. Paa den anden Side kan det ikke gaa an at holde Arbejdet saa nær, som man overhovedet kan see skarpt, fordi man hurtig bliver træt i Øjnene, naar man skal anvende hele sin Akkommodation. De fleste vælger en Afstand af omkring 25 cm. Vi kalder denne Afstand Arbejdsafstanden; den figurerer ogsaa undertiden under Navnet af den tydelige Synsvidde, men dette Udtryk er uheldigt, da man seer lige tydeligt overalt indenfor Akkomodationsomraadet.

Saaledes som jeg her har fremstillet det, er Forholdet hos unge Mennesker. Men Ungdommen er jo desværre en Gave, der hurtig svinder, og Akkommodationen, svinder med den. Hos unge er Linsen ganske blød og kan med Lethed forandre Form. Med Alderen bliver den haardere, og Akkomodationsevnen aftager i samme Forhold. Naar man er kommen op i Fyrrerne begynder det at knibe med at see skarpt i Arbejdsafstanden; man maa holde Arbejdet længere og længere ud og bliver snart nødt til at tage sin Tilflugt til Briller.

Digitized by Google

Fysik i Skolen.

Skoleforsøg over Varmeækvivalentet.

Af Th. Sundorph.

I Gymnasiet savnede man tidligere et Forsøg, hvorved man paa en simpel Maade kunde faa en antagelig Værdi for Varmeækvivalentet. Apparater af lignende Konstruktion som Christiansens egner sig ikke til Skolebrug, blandt andet af den Grund, at de er dyre; man gik derfor over til at lave Apparater, hvor man maalte den Temperaturstigning, der fremkommer, naar et i en Beholder faldende Legeme støder mod Beholderens Bund. Som faldende Legeme brugte man først Kvægsølv, men de forskellige Fremgangsmaader, der blev anvendt, førte ikke til tilfredsstillende Resultater. Anvender man s m a a Hagl i Stedet for Kvægsølv, bliver Resultatet langt bedre; man lader 2 kg af de mindste Hagl (Diam. ca. 0,5 mm) falde i et ca. 1 m langt Paprør, dette vendes 100 Gange, og af Haglenes Temperaturstigning, Faldhøjde og Varmefylde beregnes Varmeækvivalentet; Apparatet, som det laves herhjemme, er f. Eks. beskrevet i min mek. Fysik. Fremgangsmaaden er vist de fleste Fysiklærere bekendt fra Hahns Schülerübungen.

For et Aarstid siden blev der her i Tidsskriftet yttret Tvivl om Forsøgets Brugbarhed, men da jeg ikke havde opbevaret Forsøgsresultaterne fra de foregaaende Aar, kan jeg først nu opgive bestemte Talværdier, Resultater af Forsøg, der — under Vejledning — er udført af de studerende ved Kursuset i fysiske Undervisningsforsøg. Varmeækvivalentet er jo meget nær $4{,}2 \cdot 10^7$ Erg, de omtalte Forsøg gav

$4{,}03 \cdot 10^7$ Erg	$4{,}37 \cdot 10^7$ Erg
$4{,}27 \cdot 10^7$ —	$4{,}11 \cdot 10^7$ —
$4{,}39 \cdot 10^7$ —	$4{,}35 \cdot 10^7$ —
$4{,}24 \cdot 10^7$ —	$4{,}25 \cdot 10^7$ —
$4{,}21 \cdot 10^7$ —	

eller i kgm pr. kgkal 411, 435, 448, 432, 429, 445, 419, 443, 433. Temperaturstigningerne laa mellem 5,6° og 6°; alle Aflæsninger er kontrolleret, saa at enhver Regnen baglænds er udelukket. Haglenes Varmefylde blev regnet til 0,032.

Digitized by Google

Naar der er andre, hvem Forsøget ikke har tilfredsstillet, ligger det vist i, at Hahns Fremgangsmaade maa ændres, og jeg skal derfor beskrive, hvorledes de ovenfor anførte Forsøg er udført. Paprøret er lukket med to lange Træpropper (7—8 cm), saa at man kan tage fat med een Haand i hver Ende af Paprøret uden Fare for, at der gaar en nævneværdig Varmemængde fra Hænderne over i Haglene.

Man maa sørge for, at Haglenes Faldhøjde er den samme ved hver Vending af Røret. Paa et ikke for højt Bord lægges et sammenfoldet Tæppe eller en Frakke, og Paprøret holdes lodret saaledes, at den nederste Haand støtter mod Frakken, naar første Vending begynder, den anden Haand støtter mod Frakken, naar Vendingen er forbi o. s. v. Selve Vendingen foregaar hurtigt, men man kan godt hvile et Øjeblik inden næste Vending.

Haglenes Begyndelsestemperatur skal ligge henved 3^0 under Stuens Temperatur, da hele Temperaturstigningen er ca. $5{,}8^0$. Haglene anbringes først i et Cylinderglas, der stilles i Isvand, til deres Temperatur er $10—11^0$, den ene Prop tages af Paprøret og Haglene hældes i; Hullet paa Siden af Røret er lukket med en Gummiprop. Man lægger nu Røret paa et Bord, tager fat med een Haand i hver Ende af Røret, hæver og sænker skiftevis Rørets Ender, indtil Røraksens Vinkel med Bordpladen er ca. 45^0, mens man samtidig drejer Røret om sin Længdeakse; herved blandes Haglene godt. Har man gjort dette 4—5 Gange, erstattes Gummiproppen med Termometerproppen, Røret holdes lodret, for at Haglene kan slutte tæt om Termometerbeholderen, og Haglenes Temperatur aflæses; er den ikke høj nok, fortsættes et Par Gange paa samme Maade. Temperaturen aflæses altid med Røret i lodret Stilling. Naar den ønskede Begyndelsestemperatur er opnaaet, foretages de 100 Vendinger som ovenfor omtalt.

Haglenes Slutningstemperatur findes, naar Vending Nr. 100 er foretaget, ved at bringe Termometerproppen paa Plads. Da Haglene blandes godt under de 100 Vendinger, er yderligere Blanding som Regel unødvendig (se Hahn).

Forsøget tager ca. 25 Min., fraregnet den Tid, der medgaar til Haglenes Afkøling; Apparatets Pris var (før Krigen) 6 Kr.

Digitized by Google

Luftens Sammensætning.

(Et Skoleforsøg).

Af H. Jepsen.

De Forsøg, de fleste Skolebøger hai til Undersøgelse af Luftens Sammensætning, egner sig ikke til Elevøvelse.

Forbrænding af Fosfor (Roscoe m. fl.) eller af Brint (Rasmussen og Simonsen) i en afspærret Luftmasse er for farligt at anvende som Elevøvelse. Ophedning af Jærnpulver i et tilproppet Reagensglas (Sundorph) tager for lang Tid og mislykkes ofte, fordi Proppen springer ud. Forbrænding af Magniumbaand i et Rør (Jul. Pedersen) er uheldigt, da den stærke Varme driver en Del af Luften ud af Røret, saa Vandet senere stiger for højt, hvis Proppen er sat lufttæt i, hvad den forøvrigt sjælden er. Luften fyldes med Støv af Magniumilte.

Den simpleste Maade at gøre Forsøget paa turde være følgende: I en Skaal med Vand anbringes svømmende en lille Digel med Magniumpulver. Pulveret antændes med en Tændstik, og et Cylinderglas sættes over Digelen. Pulveret gløder roligt, og Vandet stiger langsomt op i Cylinderglasset. Naar Glødningen er ophørt, væltes Digelen ved Hjælp af en bøjet Staaltraad. De to Vandflader bringes i samme Højde, en Plade lægges under Cylinderens Munding o. s. v.

Undersøgelse af den tilbageblevne Luft, der ikke er fyldt med Magniumilte, kan nu foretages, og den forsvundne Luftmængde maales. Denne Maaling giver gode og ens Resultater. Det eneste Uheld, der kan indtræffe, er at Digelen væltes, inden Glødningen er ophørt, der indtræffer da en lille ufarlig Eksplosion. Man kan sikre sig derimod ved at opgive en bestemt, men rigelig Tid, der skal forløbe mellem Antændelsen og Digelens Væltning.

Anmeldelser.

C. Luplau Janssen og E. Buch Andersen: Fixstjernerne. En kortfattet populærvidenskabelig Fremstilling af Stellar-Astronomien. G. E. C. Gads Forlag. København 1918. Pris h. 5,50 Kr.

Stellarastronomien har i de sidste decennier, takket være det intense arbeide, som er blevet drevet på de større og rigt udstyrede amerikanske observatorier, gjort slige rapide fremskridt, at man nu blir nødt til at specialisere emnet, hvis fremstillingen skal være mere end

Digitized by Google

en oversigt over de hidtil indvundne resultater. Nye problemer slutter sig stadig til de hidtil gjængse og kræver, man kan gjerne sige daglig, forbedrede instrumenter og skarpere undersøgelsesmetoder. Medens før stellarastronomien altid havde en meget beskeden plads i de mere populære astronomier, forlanger den nu for sig alene en sådan dominerende stilling, at rammen for en samlet oversigt af nutidens astronomiske viden som oftest sprænges. Således nøiede første udgave af den vel kjendte Newcomb-Engelmanns »Populäre Astronomie« fra 1881 sig med 150 sider (fjerde parten af bogens deskriptive del) for stellarastronomien, medens sidste udgave fra 1914 har lagt beslag på 225 sider (mere end tredjeparten af dette parti i denne mønstergyldige oversigt). Det må derfor hilses med glæde, at ovennævnte forfattere, der begge i længere tid har arbeidet på Urania-observatoriet og herfra sendt ud adskillige meddelelser af stellarastronomisk indhold, har stillet sig den ikke lette opgave at give en udredning af, hvad man nu ved om fiksstjernerne, i en sådan form, at den med udbytte vil kunne læses af det almendannede publikum.

Efter min mening har forfatterne gjennemgående løst sin opgave på en meget heldig måde, især når man fornemlig fæster sig ved, hvad der også er udtalt på bogens titelblad, at denne fremstilling skal være populær videnskabelig, med andre ord gi videnskabens resultater, så at enhver kan med udbytte stifte bekjendtskab med denne bog. Det kan naturligvis ikke undgåes, at man vil finde afsnit, hvor man kunde ha ønsket en noget fyldigere fremstilling. Men når man betænker, at bogen er det første forsøg i sit slags på her i Norden at behandle et afsluttet afsnit af astronomien, må man gratulere forfatterne til, hvad de har kunnet få med inden for denne ramme, som let kunde bli sprængt, hvis de havde mere tat sigte på at omtale alt end at levere i en letlæst og tiltalende form en gediegen oversigt over de vigtigste afsnit af denne gren af astronomien.

Bogen åbnes efter en kort indledning med en omtale af de vigtigste instrumenter og metoder, man har brug for i stellarastronomien. Men da hensigten er at vise, hvorledes man har lært stjernernes fysikalske egenskaber at kjende, nævnes kun kort hovedinstrumenterne fra positionsastronomien, refraktoren med sit ring- og positionsmikrometer samt meridiancirklen. Det er meget mere astrofysikens instrumenter, som blir beskrevet. Forfatterne har her ment at burde tage med det vigtigste af spektralanalysen. Heri kan jeg ikke være helt enig med

Digitized by Google

dem, især naar det betænkes, at dette afsnit, skal det fremstilles fuldstændig, kommer til at indtage en forholdsvis stor plads. Jeg tror, at fremstillingen i det hele taget havde vundet, hvis de her kun i al korthed havde resumeret den fysikalske side af spektralanalysen og så henvist den, der vilde trænge dybere ind i dette emne, til de gjængse lærebøger i fysik. Den speciel astronomiske side af spektralanalysen burde da være omtalt, hvor emnet tvinger den ind på læseren og specielt under behandlingen af de forskjellige spektraltyper. Denne plan skulde jeg også ha seet havde været fulgt i afsnittet om fotografien og at beskrivelsen af, hvorledes man udvikler de fotografiske plader, havde fået en større plads. Under fotometrien burde Pickerings fotometer være bleven mere detailjeret beskrevet, især når man betænker, at de to vigtigste fotometriske stjernekataloger er fremgået ved benyttelsen af Zøllners (i Potsdam) og af Pickerings (i Harvard) fotometre. Den fotografiske fotometri skulde jeg også ha seet omtalt mere indgående, og princippet for Hartmann's mikrofotometer burde have været skizzeret. Ligeledes skulde jeg ha ønsket, at den fotoelektriske celle havde været omtalt nærmere og den hertil hørende figur reproduceret i større målestok. De fleste bogstaver på tegningen nævnes ikke i beskrivelsen af grunde, som fagfolk godt forstår, men det store publikum vil stå noget undrende ligeoverfor. At forfatterne ved en eventuel ny udgave, som naturligvis ikke vil vente længe på sig, sikkert vil sigte dette afsnit mere indgående, er jeg overbevist om. Og jeg håber også, at disse mine bemærkninger ikke må opfattes som fremkomne for at jage læsere bort, men for at pege på, hvad der efter min mening bør udbedres, så det store publikum vil ha end større udbytte af at lære disse moderne undersøgelsesmetoder at kjende.

Bogens næste afsnit omhandler specielt fiksstjernerne, og her er der i teksten ofte nævnt, hvad man i noterne gjenfinder i det matematiske sprog. Thi også astrofysikken er anvendt matematik og den første betingelse, som må stilles til dens metoder, er, at de er eksakte i Bessels ånd. Man vil finde systematisk udledet de forskjellige problemer, som man møder under studiet af fiksstjernerne. At spektraltyperne har fået en bred plads er selvsagt og at Pickerings nu almindelig benyttede skala trær i forgrunden er, hvad man havde at vente, men jeg skulde dog ha seet, at Vogels typer havde fået en større omtale og at man da havde fæstet sig fornemlig ved den redaktion, som Vogel selv tilslut kom til. Thi hans system var dog det første for-

Digitized by Google

søg på at se disse typer i fysisk belysning i modsætning til Secchis mere mnemotekniske inddeling. Maurys skala kunde uden større savn være forbigået, thi dette komplicerede system har aldrig været benyttet, dertil var det for kunstig sammenstillet. At stjernestrømmene er behandlet, hvor der drøftes stjernernes bevægelse, er selvsagt, og de forskjellige anskuelser, der i den senere tid er kommen til orde, har fået en upartisk omtale. At også dobbeltstjernerne — såvel de visuelle som spektroskopiske — har fået en større plads er jo rimeligt, og at de variable stjerner er bleven mere indgående omtalt, er fuldt ud i overensstemmelse med den rolle, disse to grene af stellarastronomien spiller i studiet af universets struktur. Derimod frygter jeg for, at de fleste læsere vil være mindre tilfredsstillet med afsnittet om melkevejen, dertil er det vel koncentreret for den store almenhed. Og Charliers studier fra den sidste tid burde ha fået en fyldigere omtale.

Bogen afsluttes med et tillæg, hvor man belæres om, hvorledes man, når Gauss' feillov lægges til grund, af det foreliggende observationsmateriale skal uddrage det bedste resultat, og så har man en kort og grei oversigt over de literære hjælpemidler, man bør søge til, hvis læseren vil trænge dybere ind i et bestemt problem.

Navne- og sagregistret bidrar i høi grad til, at man let og hurtig kan finde frem til et foreliggende emne.

I det store og hele må denne fremstilling af stellarastronomien anses for heldig at ha udfyldt et savn her i Norden, hvor man stadig har været henvist til udenlandsk literatur, naar det gjaldt at bli bekjendt med de sidste resultater indenfor stellarastronomien.

Og ønskelig vilde det være, om forfatterne vilde fortsætte med denne literære virksomhed og gi det nordiske publikum monografier af astronomiske emner. De har ved dette arbeide vist, at de er i besiddelse af egenskaber, som tiltrænges for at kunne virke inciterende på sit publikum.

Bogens nitide udstyr svarer fuldt ud til det renommé, forlaget for længst har fået. *J. Fr. Schroeter.*

Niels Jul: Joakims Forsøgsbog. Hagerups Forlag, Kbhvn 1919. Pris indb. 2,50 Kr.

Det er en ejendommelig Ramme, hvori Indholdet er givet, idet Forfatteren indleder med en Skildring af en Fysiktime, han overværer

Digitized by Google

hos Ungdomsvennen Joakim, og slutter med en lille Fortælling af Tolstoj; det skulde glæde Anmelderen, om denne kvikt fortalte Indledning kan bidrage til, at Bogen bliver læst og benyttet.

Det er særlig Folkeskolen, Forfatteren henvender sig til, men han gaar paa flere Steder betydelig ud over, hvad der kan naas i Folkeskolen. Bogen indeholder Øvelser, der kan udføres med faa Hjælpemidler, og disse Øvelser tænkes supplerede med Stof hentet fra populære Haandbøger, hvorfor Forfatteren nævner en Del saadanne Bøger og giver nøjagtige Henvisninger, hvor de ønskede Oplysninger kan findes. Hvis Forfatteren derved kan opnaa, at Skolen i højere Grad end hidtil vænner sine Elever til at benytte Haandbøger, har han gjort en god Gerning.

De metodiske Vink om Undervisningen og de Vejledninger, Bogen giver til Behandling og Indkøb af Apparater, vidner om en erfaren Lærer, der ved, hvor Vanskelighederne ligger.

Det første Afsnit om Luftarter og Vædsker er Bogens bedste og selvstændigste, en Række morsomme og samtidig instruktive Forsøg er udført med Hjælpemidler, der findes i ethvert Hus. Bestemmelse af Varmefylde og Fordampningsvarme med Kalorimeter i Folkeskolen, tror jeg ikke gaar, og at bestemme en Magnetnaals Styrke ved en Magnets Svingninger skyder langt ud over Maalet. Hvorfor en Hest trækker Vognen og ikke omvendt, faar man næppe meget ud af. Forøvrigt er Forfatterens Svar ikke fyldestgørende.

Det glæder Anmelderen at se en efter Omstændighederne omhyggelig Gennemgang af de tre elektriske Enheder. Derimod er jeg ikke enig med Forfatteren i Nødvendigheden af at sammenligne en elektrisk Strømkreds med et Vandværk for at forklare elektrisk Spænding. Jeg tror, det er spildt Ulejlighed og kun fører til, at Eleverne drager uberettigede Slutninger. Vi kommer jo alligevel ikke Problemet nærmere end til at definere Enheden og konstruere et Maaleinstrument.

H. Jepsen.

Aage Steensig, Naturlære I/II (47 + 47 Sider). — Gyldendalske Boghandel, Kbhvn. 1919. Pris heftet henholdsvis 1,60 og 1,65 Kr.

Bogen er skrevet for Ungdomsskolen, og dens Plan forudsætter, at Eleverne selv udfører en Række Øvelser, hvorefter Læreren uddyber Stoffet gennem Foredrag og ved Henvisninger til populære

Digitized by Google

Haandbøger. Denne Plan er udmærket og vidner om Forfatterens Forstaaelse af Fysikundervisningens Metode, og gennem nogle Artikler, f. Eks. »Om Undervisningen i Naturlære« i Vor Ungdom, synes det at fremgaa, at Forfatteren har Evne til at gennemføre en god Undervisningstime.

Ved Gennemlæsningen af ovennævnte Bog faar man imidlertid det Indtryk, at Forfatteren ikke har magtet Opgaven, idet der er adskillige Unøjagtigheder i Teksten, hvoraf jeg skal anføre nogle:

Side 16 (1) Aneroidbarometret. — — — »hvis Laag er af Bølgeblik, for at Overfladen kan være saa stor som muligt.«

Side 29. Af Teksten maa Læseren faa det Indtryk, at der ved Metallers Opløsning i en Syre sker det samme som ved Sukkers Opløsning i Vand.

Side 42. Forveksles Fordampningsvarme og Varmefylde.

Side 2 (2) forudsættes at Spejlbilledet er indbildt, hvad Forsøget skulde vise.

Side 25. »Den Kraft, der viste sig — — — kalder man en elektrisk Strøm.«

Side 29 kaldes Holtens Regel Ørsteds Regel.

Side 31. Batteriet har naturligvis større elektromotorisk Kraft end et enkelt Element. Dette naturligvis er meget uheldigt, da intet i Forvejen kan føre til denne Antagelse.

Side 33. Definitionen af den elektriske Strøms Styrke er meget ufuldstændig.

Da Bogen tænkes anvendt i Ungdomsskolen, burde de elektriske Enheder have haft en langt grundigere og omhyggeligere Behandling; det er ikke nok at skrive: Læs derom! For det første er det ikke givet, at Eleven ved, hvor han skal læse, og for det andet er Sagen ikke saa lige til, at han med Udbytte vil kunne læse om disse Spørgsmaal uden forudgaaende Vejledning. Forfatterens Litteraturhenvisninger indskrænker sig til at nævne et Par Bøger af vor ikke rige populære Fysiklitteratur, og efter hvert Afsnit at skrive: »Læs om det«! Men det er ikke nogen Vejledning og kunde ligesaagodt helt have været udeladt.

Trods disse og flere Mangler og Misforstaaelser er der ogsaa gode Ting i Bogen, og særlig finder jeg Anledning til at fremhæve Afsnittet: Mekanisk Fysik. Men vor Skolebogslitteratur havde ikke lidt noget Tab, hvis Bogen var forblevet uskrevet. *H. Jepsen.*

Digitized by Google

Beskrifning och undersökning af en självregistrerande fallkropp af Reed. Dess användning vid ett nytt fallförsök för skolan.

Af

Kurt Molin, fil. lic.

Man har konstruerat flera anordningar grundade på mycket olika principer för att direkt mäta eller demonstrera accelerationen (g) hos fritt fallande kroppar. En sammanställning af sådana arbeten ger Winkelmann [1]).

För ett demonstrationsförsök inför ett större auditorium eftersträfvar man framför allt, att fallkroppen tydligt skall markera sin bana. Detta kan uppnås genom att fallkroppen bygges på nedan beskrifna sätt, då samtidigt den fördelen vinnes, att kroppen får fritt falla, och att man således vid betraktelsen af kraftverkan vid fallrörelsen slipper ifrån att försumma friktionen mellan fallkroppen och dess ledbana. Från luftmotståndet är man tvungen att bortse.

Föreliggande bestämning afser endast att mäta de vägsträckor, som tillryggalägges under lika efter hvarandra följande tidsintervall och lämnar utan afseende dessa tidsintervalls verkliga värden.

1.) Beskrifning af fallkroppen [2]).

Fallkroppen är konstruerad efter den principen, att en vätska genom en fin öppning lämnar fallkroppen som en horisontell stråle och därmed registrerar fallkroppens läge i hvarje ögonblick. Apparaten (se fig. 1), som är förfärdigad af mässing, består af en

[1]) A. Winkelmann, Handbuch der Physik, Zweite Aufl. Bd. 1, Teil 1, s. 366.

[2]) Apparaten är konstruerad och förfärdigad af instrumentmakare Thv. Reed vid Den Tekniske Höiskoles Fysiske Institut, Trondhjem.

Digitized by Google

undre del af groft gods innehållande vätskereservoiren samt en öfre del af lätt gods bildande en båge, till hvilken stämpeln kan fästas. Före apparatens fyllande med vätska lyftes stämpeln (*d*) så högt,

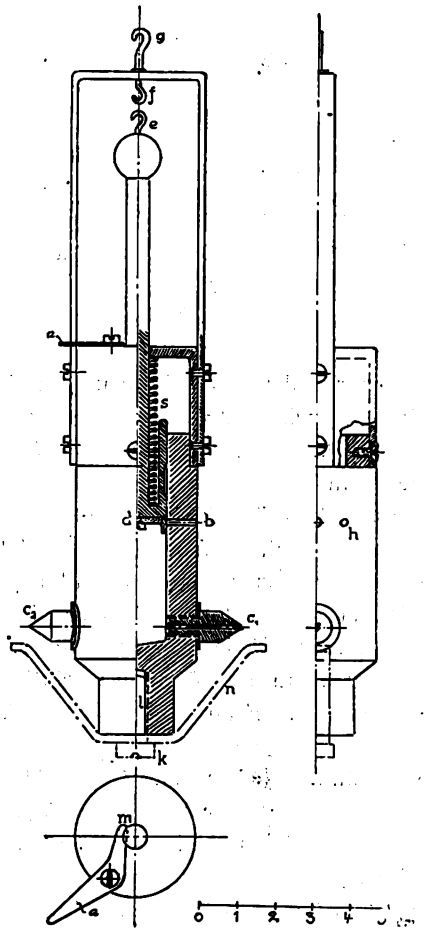


Fig. 1.

att mynningen af kanalen (*b*) befinner sig under stämpeln (*d*). Denna slutar med ett skålformigt pressadt läderstycke, som är antydt i genomskärning på fig. 1. Stämpeln fasthålles i nu beskrifna läge genom spärren (*a*), som griper in i haket (*m*). Medelst en ipett kan vätska genom (*b*) nu införas i behållaren, hvilket går lätt

Digitized by Google

för sig, då luften utdrifves genom kanalen (h). Mellan krokarna (e) och (f) lägges en ögla af tunn tråd och afpassas öglans längd sålunda, att om spärren (a) vrides åt sidan och stämpeln således drifves nedåt af fjädern (s), densamma kvarhålles af den nu spända öglan i en sådan ställning, att kanalen (b) är afstängd från behållaren. Vid detta förfarande utpressas en del vätska genom utströmningsrören (c_1) och (c_2) ur behållaren, som från början bör vara väl fylld med vätska. Apparaten är nu färdig till användning. För hvarje särskildt försök måste den fyllas på nu beskrifna sätt.

2.) Undersökning af fallkroppen. Den beskrifna fallkroppen har jag underkastat följande undersökning. Hvad dimensionerna beträffar, så må behållarens volym, fjäderns spännkraft och utströmningsrörens diametrar väljas på lämpligt sätt. Stämpeln påverkas af två krafter, dels fjäderns nedåt riktade spännkraft, dels den inneslutna vätskans hydrostatiska mottryck, som beror på den inre friktionen i utströmningsrörena (c_1) och (c_2) samt på utströmningsmotståndet. Då fjäderns spännkraft aftar med stämpelns nedtryckande, så minskas utströmningshastigheten (v) och vätskestrålen kommer att på ett visst afstånd x ifrån apparatens symmetriaxel träffa i punkter, hvilkas afstånd z ifrån horisontalplanet genom (c_1 c_2) äro proportionella mot $\frac{1}{v^2}$. Af två grunder bör man ej välja x för stort. I närheten af utströmningsöppningen är vätskestrålen genomskinlig och af konstant tjocklek och lämpar sig därför för registrering. På ett visst afstånd a från öppningen upphör strålen att vara kontinuerlig, därför bör x väljas mindre än a. Dels är felet dz proportionellt mot x^2, då $dz = \frac{gx^2(-dv)}{v^3}$. En nödvändig betingelse för registreringen är, att dz kan göras så liten, att $\frac{dz}{z}$ fullständigt kan försummas med hänsyn till inverkan af dv.

För att uppnå detta måste stålfjädern (s), när stämpeln närmar sig sitt nedersta läge, ännu äga kvar en stor del af sin spännkraft, så att v under den allra största delen af utströmningstiden kan hålla sig så stor, att dz blir försvinnande liten för det ifrågavarande afståndet x.

Med en och samma stålfjäder har vid konstant volym af

Digitized by Google

vätskebehållaren olika storlekar på rörenas c_1 och c_2 diametrar profvats varierande mellan 0,5 och 0,1 mm. Vid de större diametrarna blir dels strålen onödigt grof, dels tömmes behållaren för hastigt, hvilket kan medföra en inskränkning i apparatens användbarhet. Vid små diametrar åtér visade det sig, att fasta partiklar i vätskan lätt tilltäppte kanalerna. Såsom registreringsvätska har utspädt rödt bläck visat sig vara lämpligt; vid användandet af små rördiametrar måste vätskan först filtreras. Till slut valdes d till 0,25 mm och såsom ett gynnsamt område för apparaten visade sig $0{,}2 < d < 0{,}3$ mm. vara.

Af de gjorda undersökningarna af apparatens verkningsgrad må följande nämnas: genom att välja konstant längd på öglan mellan (e) och (f) erhölls med hjälp af ett stoppur värdet $5{,}0 \pm 0{,}2$ sek. på utströmningstiden, då $d_{c_1} = d_{c_2} = 0{,}25$ mm. På afståndet 90 mm från apparatens symmetriaxel fästes en knappnål i horisontalplanet genom c_1 och c_2. Öglan brännes af och strålen från c_1 träffar knappnålen. Tiden mätes från utströmningens början till det ögonblick, då strålen sjönk under knappnålen, och erhölls 4,2 sek. Se vidare härom sid. 14 och fig. 7.

Häraf framgår, att dz är så litet, att apparaten uppfyller fordringarna för registreringen under de fyra första femtedelarna af utströmningstiden.

Under den korta tid, som mina fallförsök vara, kan naturligtvis felet dz på grund af ändring i v fullständigt försummas, men för apparatens ev. användande till försök, som kräfva längre registreringstid, kan det nu framhållna vara af betydelse.

3.) Fallförsök.

a) Det Morinska fallförsöket.

Fallkroppen upphänges med hjälp af kroken (g). Först afbrännes öglan kring (e) och (f), så att vätskan börjar utströmma, sedan afbrännes upphängningstråden, då fallet äger rum. För att undvika att kroppen i fallet kommer i rotation genom den oundvikliga torsionen vid unifilärupphängningen, får kroppen under de första centimeterna af sin bana följa ett spår.

Användes densamma t. ex. till Morins klassiska fallmaskin [1]),

[1]) Denna finnes beskrifven t. ex. hos A. Winkelmann, ib. Chwolson, Lehrbuch der Physik. Bd. I. s. 384, 1902. s. 354, 1918. J. Frick, Physikalische Technik, I: 2, s. 730, 1905.

Digitized by Google

så sättes först dennas cylinder i rotation, och då konstant rotationshastighet uppnåtts, får kroppen falla. Man undgår härvid flera af de svårigheter, som framställa sig vid demonstration af detta fallförsök med användande af den vanliga fallkroppen. Om cylindern ej är fullt cirkulär blir kurvan osammanhängande eller också ligger blyertsspetsen hårdt intill papperet och har lätt för att brytas af.

För försök af denna typ kan apparaten förses med en skärm (n) antydd i fig. 1, som fästes med hjälp af skrufven (k) och gängningen (l) och som tjänar till att skydda spetsarna. Apparaten får falla ned i en låda med träull, eller också påsättes öfver (k) en stor kittklump, som får upptaga stöten.

b). Ett nytt fallförsök.

Fallkroppen, som uteslutande konstruerats med hänsyn till det Morinska försöket, har först genom följande af mig företagna fallförsök fått betydelse som självständig apparat. Vid dessa försök användes apparaten till tidsmarkering och för den skull bringas den att rotera kring sin symmetriaxel med spetsarna c_1 och c_2 i ett fixeradt horisontalplan.

På detta sätt kunna lätt goda demonstrationsförsök utföras, men dessutom visar sig metoden i hög grad ägnad till gifvande skolförsök.

För att få tidsintervallen hälften så stora, har apparaten försetts med 2 spetsar c_1 och c_2. En järnbult ingängas vid (l) och fästes i en vanlig centrifugalmaskin[1]), som har fått drifvas af en likströmsmotor. Spetsarna c_1 och c_2 befinna sig i ett plan på c:a 175 cm höjd öfver golfvet. På en träribba af c:a 160 cm längd och 6 cm bredd fästes en pappersremsa. Vid ribbans öfre kant är fastkrufvadt ett stycke mjukt järn, så att ribban kan upphängas med hjälp af en elektromagnet. Härigenom har man i sin hand att bestämma ögonblicket för fallförsöket, samtidigt som ribban faller utan rotationsrörelser, hvilket ej kunde undvikas, när ribban bragtes att falla genom afbränning af en enkel upphängningstråd på grund af torsionen hos densamma. Ribban är nedtill försedd med två väl tillpassade blyplattor, och stor omsorg måste nedläggas på att

[1]) E. Leybolds Nachfolger, Einrichtungen und Apparate für den Physikalischen Unterricht. Zweite Auflage. S. 110.

Digitized by Google

ribban före försökets början hänger fullständigt vertikalt för uppdragningen af lodlinje. Se härom sid. 11.

Försöket tillgår sålunda, att centrifugalmaskinen sättes i gång, omedelbart därefter afbrännes öglan (*ef*) och samtidigt brytes strömmen till elektromagneten.

I fig. 2 äro återgifna några af de utförda fallförsöken. Försöket

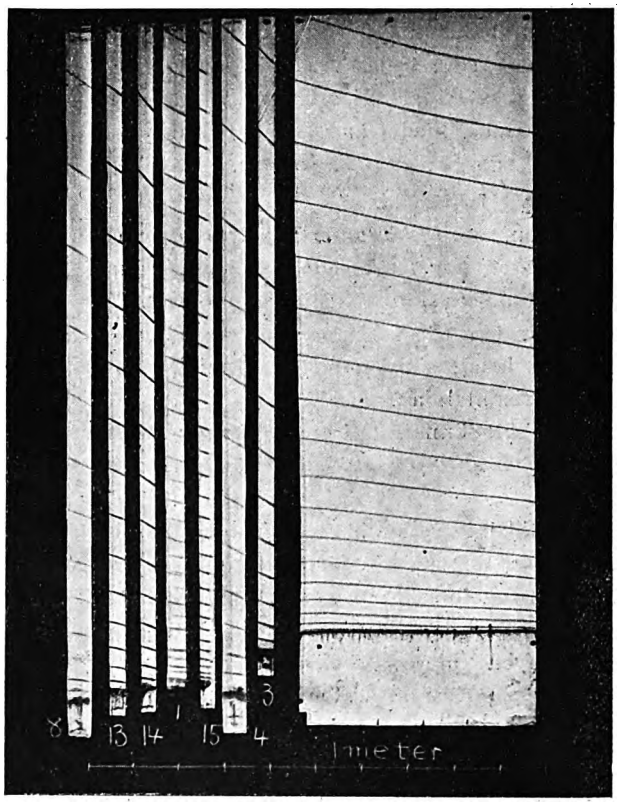


Fig. 2.

1 gjordes med tvenne olika rördiametrar d_{c_1} och d_{c_2}, hvilket tydligt framgår ur de inbördes likheterna mellan hvarannan tidsmarkering. Kurvorna 3, 4 och 8 upptogos med lika rördiametrar och mindre rotationshastigheter. Vid 13, 14 och 15 ha användts nya med större precision förfärdigade spetsar af samma diameter. Rotationshastigheten för kurvorna 13 och 14 var omkring 880 hvarf per

Digitized by Google

minut, för kurvan 15 1880 hvarf. Afståndet mellan ribbans pappersremsa och rotationsaxeln var vid försöket 13 70 mm och vid försökena 14 och 15 c:a 45 mm.

Gemensamt för 1, 3, 4 och 8 är, att strecken äro utprägladt suddiga nedåt beroende på trögheten. Jämför fig. 3. Anslaget mot golfvet skedde med så stor kraft, att ribban studsade tillbaka till öfver planet genom c_1 och c_2, såsom framgår af de horisontella markeringarna på kurvorna 1 och 8. Detta har afhjälpts därigenom, att ribban förses nedtill med en cirka 1 dm lång kittpelare, då anslaget så mildrades, att ribban efter detsamma stod fast vid golfvet. Strecken på kurvorna 13, 14 och 15 äro också bättre begränsade.

Vid de första försöken med denna metod upptogos kurvorna på tunnt, olimmadt papper, och för uppmätning af fallsträckorna



Fig. 3.

var det nödvändigt att med ögonmått halfvera de grofva markeringsstrecken. Men genom att ersätta sådant papper med ritpapper, visade det sig, att markeringen bestod af en mycket skarp linje af någon tiondedels millimeters tjocklek af starkare röd färg än den grofva markeringslinjen i sin helhet, och belägen något närmre dennas åt fallriktningen vettande kant. Särskildt tydligt framträdde denna fina linje vid stor utspädning af det röda bläcket. Härigenom hade det lyckats at erhålla en definierad markeringslinje, och felet vid uppmätningen af de tillryggalagda vägsträckorna beroende på markeringen kan således fullständigt försummas.

Som exempel återgifves uppmätningarna af tvänne kurvor. Origo förlägges på den horisontella markeringen på pappersremsan, som härrör sig från tiden mellan öglans (*ef*) afbrånning och det ögonblick elektromagneten släppte ribban. Verkan blir den-

Digitized by Google

samma som om koordinatsystemet var stilla och fallkroppen »föll uppåt« längs z-axeln med accelerationen g cm/sek.^{2}. Rörelseekvationen blir alltså

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g. \qquad \text{(I)}$$

I det ögonblick fallrörelsen börjar kan spetsen c_1 eller c_2 hafva en ställning representerad af en godtycklig azimutvinkel $\alpha \leq 2\pi$ och tiden t_0 mellan det horisontella strecket och resp. spets första markering är en bråkdel $1 - \frac{\alpha}{2\pi}$ af τ, där τ får beteckna omloppstiden för 1 hvarf. Genom integration af ekv. I få vi, då $z = 0$ och $\frac{dz}{dt} = 0$ för $t = 0$, ekvationerna:

$$z_0 = \frac{gt_0^2}{2}, \qquad \text{(II a)}$$

$$z_n = \frac{g}{2}(t_0 + n\tau)^2 \qquad \text{(II b)}$$

hvaraf erhålles:

$$\overline{z}_n = z_n - z_0 = \frac{g}{2}n^2\tau^2\left[1 + \left(2 - \frac{\alpha}{\pi}\right)\cdot\frac{1}{n}\right] = Cn^2\left[1 + \left(2 - \frac{\alpha}{\pi}\right)\cdot\frac{1}{n}\right]. \qquad \text{(III a)}$$

$$\Delta z_{n+1} = \overline{z}_{n+1} - \overline{z} = C\cdot n\left[2 + \left(3 - \frac{\alpha}{\pi}\right)\cdot\frac{1}{n}\right]. \qquad \text{(III b)}$$

$$\Delta(\Delta z_{n+1}) = \Delta z_{n+1} - \Delta z_n = 2C = g\tau^2. \qquad \text{(III c)}$$

Vill man inskränka sig till att undersöka ekvationens III c riktighet, så erhålles densamma enklare genom att II b deriveras två gånger med afseende på n:

$$\frac{d^2z_n}{dn^2} = g\tau^2 = \text{konst.}$$

Ur ekvationerna III c erhålles

$$C_m = \frac{1}{2n}\sum_1^n \Delta(\Delta z_{n+1}),$$

som således kan beräknas ur de verkställda uppmätningarna. Med hjälp af hvilken som helst af ekvationerna III a eller III b kan $\frac{\alpha}{\pi}$ vidare beräknas:

Digitized by Google

$$\frac{\alpha}{\pi} = n + 2 - \frac{\bar{z}_n}{nC_m}, \qquad \text{(IIIa}^1\text{)}.$$

$$\frac{\alpha}{\pi} = 2n + 3 - \frac{\Delta z_{n+1}}{C_m}. \qquad \text{(III b}^1\text{)}.$$

Härigenom äro vi i stånd till att verifiera äfven ekv:a III a och III b, i hvilka $\frac{\alpha}{\pi}$ ingår.

Tabell 1 upptar de ur kurvan 14 erhållna resultaten. Serien 1 ger $C_m = 22{,}53$. Insättes detta värde i ekv:a (III a^1, $n = 7$) och (III b^1, $n = 6$) finner man som värde på $\frac{\alpha}{\pi}$ resp. 1,004 och 1,014 motsvarande vinkelvärden på α af resp. $180^0{,}6$ och $182^0{,}5$. Serien 2 ger $C_m = 22{,}53$ och efter indsättning i samma ekvationer ger denna serien som värde på $\frac{\alpha}{\pi}$ resp. $-0{,}122$ och $+0{,}020$. Som ett medelvärde har vid första serien användts $\frac{\alpha}{\pi} = 1{,}009$, vid andra serien har $\frac{\alpha}{\pi}$ satts lika med noll. Azimutvinklarna beräknade ur endast två observationer hvilka som helst göra ej anspråk på att vara noggrannt bestämda.

Af första tabellens 5:te, 6:te och 7:de vertikalrader framgår att försöket på ett tillfredsställande sätt verifieradt ekvationerna III a, b, c, i det att det sannolika medelfelet hos medelvärdet af alla konstantbestämningarna endast uppgår till

$$\pm \tfrac{2}{3} \sqrt{\frac{[\Delta\,\Delta]}{38 \cdot 37}} \cdot \frac{100}{22{,}496} = \pm 0{,}13\ \%.$$

Tabell 1.
Kurvan nr. 14.
Serie 1.

n	z_n	$\bar{z}_n$	Δz_{n+1}	$\Delta(\Delta z_{n+1})$	$\frac{\bar{z}_n}{n^2+0{,}991n}$	$\frac{\Delta z_{n+1}}{2n+1{,}991}$	$\mathrm{tg}\gamma_{n1}$	$\frac{4n}{1+2n}$	obs.—ber.
0	3,2	0,0	43,3				15,894	12,566	3,328
1	46,5	43,3	89.8	46,5	21,75	22,50	4,867	4,189	0,678
2	136,3	133,1	134,9	45,1	22,25	22,52	2,646	2,513	0,133
3	271,2	268,0	180,6	45,7	22,38	22,60	1,924	1,795	0,129
4	451,8	448,6	226,0	45,4	22,48	22,62	1,469	1,396	0,073
5	677,8	674,6	271,4	45,4	22,52	22,64	1,156	1,142	0,014
6	949,2	946,0	315,1	43,7	22,55	22,52	0,983	0,968	0,015
7	1264,3	1261,1			22,54		0,833	0,837	— 0,004

Digitized by Google

Serie 2.

n	z_n	$\bar{z}_n$	$\triangle z_{n+1}$	$\triangle(\triangle z_{n+1})$	$\frac{\bar{z}_n}{n^2+2n}$	$\frac{\triangle z_{n+1}}{2n+3}$	$\operatorname{tg}\gamma_{n2}$	$\frac{2\pi}{1+n}$	obs.—ber
0	19,2	0,0	67,1				8,195	6,283	1,912
1	86,3	67.1	111,5	44,4	22,36	22,30	3,353	3,142	0,211
2	197,8	178,6	158,0	46,5	22,33	22,57	2,286	2,094	0,192
3	355,8	336,6	203,0	45,0	22,44	22,55	1,536	1,571	— 0,035
4	558,8	539,6	248,9	45,9	22,48	22,63	1,264	1,256	0,008
5	807,7	788,5	293,5	44,6	22,53	22,58	0,9875	0,898	0,090
6	1101,2	1082,0	337,5	44,0	22,54	22,50	0,8650	0,785	0,080
7	1438,7	1419,5			22,53				

Tabell 2.

Kurvan nr. 15.

n	Serie 1. $\triangle(\triangle z_{n+1})$	Serie 2. $\triangle(\triangle z_{n+1})$
0		
1	10,1	11,7
2	11,6	10,8
3	10,8	10,7
4	11,0	12,0
5	12,3	11,8
6	9,7	7,6
7	7,9	9,6
8	11,6	11,7
9	11,4	11,1
10	10,4	11,0
11	11,6	12,0
12	11,1	10,6
13	9,9	8,4
14	9,6	11,1
15		

Hvad afvikelserna mellan de olika värdena på $\Delta(\Delta z_{n+1})$ inom kurvornas resp. serier beträffar, så bero de på den skakning af centrifugalapparatens uppställning, som förorsakas af motorn i rörelse. Afvikelsernas periodiska karaktär framgår af diagrammet fig. 4, där $\Delta(\Delta z_{n+1})$ afsatts som ordinator och i godtycklig enhet

Digitized by Google

n som abscissa, med serien 2 förskjuten $\frac{1}{2}$ enhet för n åt högre n-värden till motsvarande fasskillnaden π mellan serierna. För kurvan 14 är variationsamplituden 2,8 mm för kurvan 15 4,7 mm. Dessa afvikelser växte, som ju var att vänta, proportionellt mot pappersremsans afstånd från rotationsaxeln och voro betydligt mindre vid lägre rotationshastigheter, då motorns skakningar då voro mindre. Med en stabilare uppställning torde denna felkälla afsevärdt kunna nedbringas. Dessutom tillkom ju, att $\frac{d[\Delta(\Delta z_{n+1})]}{\Delta(\Delta z_{n+1})}$ blef mindre, då $\Delta(\Delta z_{n+1})$ blef större, allteftersom τ blef större.

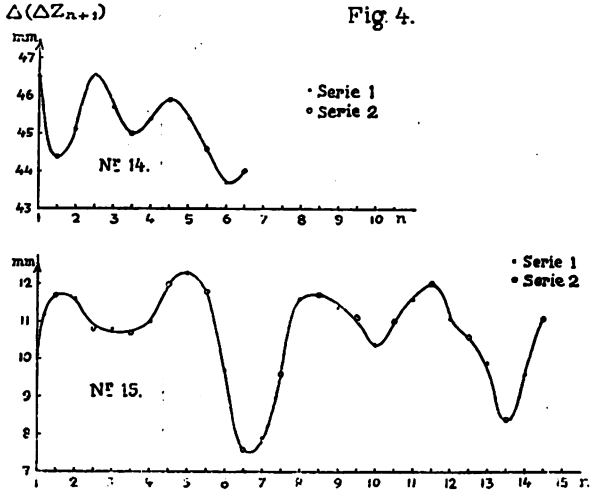


Fig. 4.

Fig. 4.

Fastställandet af lodlinjen måste ske med stor omsorg, och uppdrogs densamma före fallförsöket med begagnande af ett lod. Sker uppmätningen längs en z-axel med en lodafvikningsvinkel ε, så uppkomma fel, som öka med växande n på grund af markeringslinjens med n tilltagande lutning, såsom framgår af fig. 6. De uppmätta intervallen utfalla antingen alla för stora eller alla för små från en viss punkt räknadt, och man får en gång i värdena. Bättre än det nu omnämnda förfarandet har det visat sig vara att använda ett vertikalt diafragma D justeradt med nivå, antydt i fig. 5. Resultatet framgår af kurvan 15 fig. 2. Lodlinjen kan uppdragas

Digitized by Google

med stor noggrannhet som sammanbindningslinje mellan markeringarnas ändpunkter.

Vid ett särskildt försök ersattes fallribban af en lika lång cirkulär cylinder af ritpapper med 90 mm radie och axeln sammanfallande med apparatens rotationsaxel. I cylindermanteln var gjort ett uttag för centrifugalapparatens horisontella stativdel och för att möjliggöra öglans (*ef*) afbränning, så att mantelytan omfattade 320° centrivinkel, se fig. 5. Den cirkulära formen erhölls genom användande af en öfre lättare cirkelring (320°) och en nedre tyngre hel cirkelring, vid hvilka papperet var fästadt. För und-

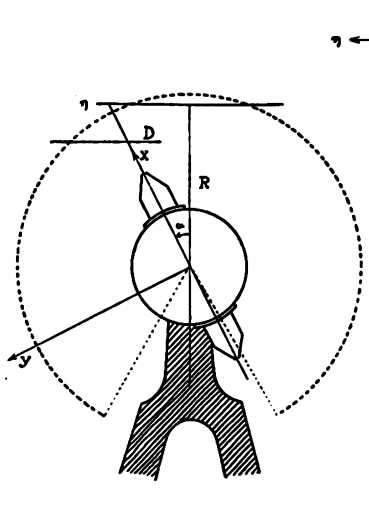


Fig. 5.

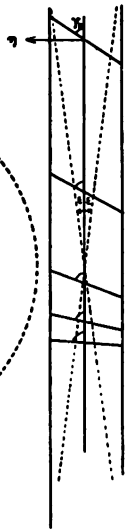


Fig. 6.

vikande af svängning på grund af torsionen användes bifilär upphängning; två trådar fästada symmetriskt i den öfre ringen lågo öfver en järntråd, som ingick i en strömkrets och som i fallögonblicket upphettades til glödning genom strömkretsens slutning. Den registrerade kurvan blir en skruflinje med växande gänghöjd. I fig. 2 är densamma utvecklad i planet.

Lägges ett koordinatsystem med x-axeln längs radien med azimuten α, se fig. 5, så blir läget af en fortskridande punkt på kurvan bestämd genom ekvationerna

Digitized by Google

$$\left.\begin{aligned} x &= R\cos u \\ y &= R\sin u \\ z &= \tfrac{1}{2}gt^2 \\ u &= \frac{2\pi}{\tau}t \end{aligned}\right\} z = \tfrac{1}{2}\frac{g\tau^2}{4\pi^2}u^2 = \frac{C}{4\pi^2}u^2 = \frac{k}{2}u^2.$$

Tangenten till skruflinjen i en godtycklig punkt må bilda vinkeln γ med z-axeln, då är

$$\cos\gamma = \frac{dz}{ds} = \frac{dz}{\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2}} = \frac{ku}{\sqrt{R^2+k^2u^2}}$$

och

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{R}{ku} = \frac{R}{\sqrt{2k}}\cdot\frac{1}{\sqrt{z}}.$$

Betrakta ett plan, som tangerar cylinderytan t. ex. fallribbans, och låt dess lodlinje sammanfalla med geneatrisen ifråga.

Då är $z_0 = \frac{k}{2}u_0^2$ och $z_n = \frac{k}{2}(u_0 + n\cdot 2\pi)^2$, där $u_0 = 2\pi - \alpha$.

För kurvan 14 var för serien 1 $\alpha = \pi$ och för serien 2 $\alpha = 0$ approximativt och $R = 45$ mm.

Alltså

$$z_{n_1} = \frac{k}{2}\pi^2(1+2n)^2 \quad \text{och} \quad z_{n_2} = \frac{k}{2}\cdot 4\pi^2(1+n)^2.$$

Häraf erhålles

$$\operatorname{tg}\gamma_{n_1} = \frac{2\pi R}{C(1+2n)} = \frac{4\pi}{(1+2n)} \quad \text{och} \quad \operatorname{tg}\gamma_{n_2} = \frac{\pi R}{C(1+n)} = \frac{2\pi}{1+n}.$$

Då vinklarna γ_{n_1} och γ_{n_2} kunna uppmätas, så kunna dessa formler verifieras. Resultaten framgå af tabell 1.

Särskildt för stora vinklar blifva differenserna obs. — ber. stora, då ett litet fel i vinkeln åstadkommer en stor ändring i tangentens värde. Ej heller är R uppmätt med någen större noggrannhet utan kan vara behäftad med ett fel af ett par mm, hvilket är anledningen till att öfvervägande pos. värden erhållits på differensen obs. — ber.

Betecknas med η den horisontella riktningen i pappersremsans plan, pos. åt samma håll som strålens rotationsriktning i anslags-

Digitized by Google

punkten mot papperet, se figurerna 5 och 6, så kunna vi finna formen på den plana kurvan i ηz-planet, hvaraf markeringslinjen i området kring lodlinjen är ett bågelement, ty $\operatorname{tg}\gamma = \frac{\partial\eta}{\partial z}$ eller

$$\frac{\partial\eta}{\partial z} = \frac{R}{\sqrt{2k}} \cdot \frac{1}{\sqrt{z}}$$

$$\therefore \quad \eta = \frac{R}{\sqrt{2k}} \int \frac{\partial z}{\sqrt{z}} = R\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{k}}\sqrt{z} + A,$$

eller, om vi bortse ifrån integrationskonstanten, som beror på läget af origo, $\eta^2 = 2\frac{R^2}{k} z$, dvs. den fallparabel, som demonstreras genom Morins försök.

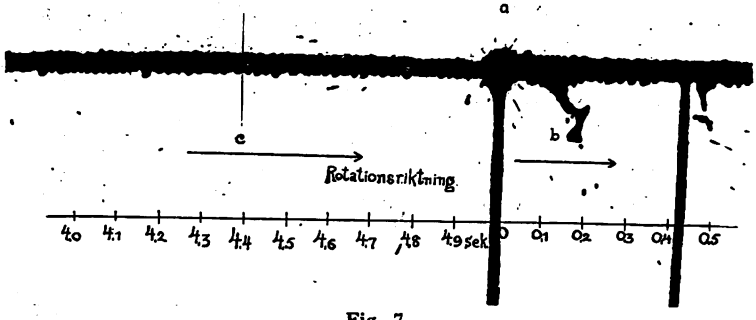


Fig. 7.

För att objektivt kunna påvisa riktigheten af det på sid. 4 framställda förhållandet, att vätskestrålen håller sig horisontell under största delen af utströmningstiden, centrerades en fast cylinder af 90 mm radie kring rotationsaxeln. När apparaten erhållit en konstant rotationshastighet på 5 sek. svarande till utströmningstiden, afbrändes öglan (*ef*). Fig. 7 återger den registrerade kurvan. Anslaget börjar vid *a*. Först vid *c* kan man förmärka en sänkning af den fina registreringslinjen. Vid *b* upphör strålen plötsligt efter en svag krökning nedåt.

Trondhjem, Den Tekniske Höiskoles Fysiske Institut.
April 1919.

Digitized by Google

Farvestoffer [1]).

Af

Svend Møller.

Tøj eller andre Ting med smuk Farve er jo en Øjnenes Lyst, og saadan har det vel altid været. De to smukkeste og mest ægte Farvestoffer, Krap og Indigo, har da ogsaa været kendt i Aartusinder, og allerede de gamle Ægyptere forstod at farve dermed.

Men det er først omkring 1860—70, at Grundlaget for de senere Aars vældige Udvikling paa Farvestoffernes Omraade er lagt. 1856 fremstillede William H. Perkin Mauvein. 1859 Emanuel Verguin i Lyon: Fuksin. Graebe og Liebermann udførte i 1869 den meget vigtige Synthese af Alizarin og Anthrakinon. 1880 udtog A. v. Baeyer det første Patent paa Indigoblaat, men det var dog først 18 Aar senere ved Heumanns to forskellige Methoder, at det teknisk fremstilledes i større Maalestok. Vidal fremstillede i 1893 det første sorte Svovlfarvestof og disse og Indigofarvestofferne har siden 1900 gennemgaaet en vældig Udvikling. Man tør vel sige, at Farvestofindustrien er udgaaet fra England og Frankrig, men har sat sine skønneste Blomster i Tyskland.

Et Forhold, der særlig fortjener at understreges, er, at de glimrende Fremskridt paa Tjærefarvestofindustriens Omraade ingenlunde skyldes Opdagelser i alm. Forstand, altsaa lykkelige Fund, men er Resultatet af rastløst Arbejde, Skridt for Skridt mod bevidst Maal, først rent videnskabeligt, derpaa videnskabeligt og teknisk i inderlig Forening. En kyndig Iagttagelse og Udforskning af alle optrædende tilsigtede og ikke tilsigtede Reaktioner (K. Elbs).

En Farve eller et Farvestof kan i fysisk eller i kemisk Henseende være ren uden derfor at være smuk. Det sete afhænger jo, som man siger, af Øjnene.

Medens det menneskelige Øre kan opfatte omtrent 10 Oktaver, nemlig Toner med Svingningstal fra 40—40000 i Sek., saa spænder Øjet kun over knapt een Oktav. Det formaar kun at opfatte Æthersvingninger med et Svingningstal fra 375—750 Billioner i Sek.

[1]) Foredrag holdt i Selskabet for Naturlærens Udbredelse Onsdag d. 9. April 1919.

Digitized by Google

I Stedet for Svingningstal bruges i Optiken almindeligvis Bølgebredde, der staar i Relation hertil ved: $\lambda = \frac{c}{n}$, hvor c er Lysets Hastighed i det paagældende Medium. $c = 3.10^{10}$ $^{cm}/_{sek.}$ i det tomme Rum. Indsat, giver dette Grænserne for Øjets Lysfølsomhed til:

$$\lambda = 8.10^{-5} \text{ cm resp. } 4.10^{-5} \text{ cm}$$

eller

$800\ \mu\mu - 400\ \mu\mu$ ($1\ \mu\mu = 10^{-6}$ Millimeter). Se Tabel I.

TABEL I.

Spektrets Farveskala

(Bølgebredder i $\mu\mu$).

800—600	600—580	580—500	500—430	430—400
Rødt	Gult	Grønt	Blaat	Violet

Evnen til at gøre Indtryk af Farve paa det menneskelige Øje beror paa den Egenskab hos Farvestofferne, at de ved Lysets Gennemgang gennem dem mere eller mindre absorberer ɔ: udslukker en Del af Straalerne i det synlige Spektrum, medens en anden Del gaar næsten usvækket igennem.

Graa Farve er saaledes et lyssvagt Hvidt. Dersom Intensiteten af de røde Straaler i en saadan Blanding af lyssvage Farvestraaler er større end Intensiteten af de andre, taler man om brunt med Underafdelingerne: rødbrunt og gulbrunt eftersom Intensiteten af de røde eller de gule Straaler er størst. Er derimod Intensiteten i et saadant lyssvagt Hvidt størst til den Side med de ringe Bølgebredder, taler man om blaagraat eller staalgraat. Et Graat med fremherskende grønt kaldes olivengrønt. Mangler enhver Lysvirkning, taler man om sort.

Forholdene undersøges bedst i Opløsninger i de saakaldte Absorptionskar, Kyvetter med planparallele Vægge. Gennem et saadant sendes Lyset fra en Lyskilde, i hvis Spektrum de forskellige Farver har nogenlunde samme Fordeling med Hensyn til Intensitet som Sollyset. Hertil bruges foruden Sollyset selv, Nernstlampen, Acetylenlampen, men ogsaa en alm. elektrisk Glødelampe, en Auerbrænder eller Petroleumslampe.

Digitized by Google

Det Lys, der gaar igennem Karret med Opløsningen sendes saa gennem et Spektroskop. Det fremkomne Spektrum kaldes et Absorptionsspektrum eller Restspektrum, og dersom der mangler en eller flere Serier af Straalearter taler man om selektiv Absorption. Det er ogsaa muligt at undersøge det tilbagekastede Lys (f. Eks. fra et Stykke Tøj) ved at lade dette falde gennem Spalten paa et Spektroskop.

Ved den spektroskopiske Undersøgelse af et Farvestofs Absorptionsspektrum viser det sig, at Farvestoffet lader de Straaler, der har samme Bølgebredde, som de Straaler, det selv udsender, passere næsten usvækket igennem; derimod absorberer det mere eller mindre de Bølgebredder, der er komplementære med dets Egenfarve (se Tabel IV).

De fleste gule Farvestoffer lader foruden de gule Straaler ogsaa Størstedelen af de røde og grønne gaa igennem — mere eller mindre godt. Derimod har *alle* gule Farvestoffer den Egenskab at absorbere det med det gule komplementære blaa. Det karakteristiske for et Farvestof er derfor ikke Arten af de Straaler (Bølgebredder), som det lader gaa igennem, men dem, det absorberer. Det karakteristiske for et Farvestof er altsaa Beliggenheden og Bredden af de mørke Striber (Absorptionsstriber) i dets Absorptionsspektrum. Et gult Farvestof, der foruden de gule Straaler ogsaa lader de røde og grønne gaa igennem, kaldes lysegult. Gaar derimod ingen af disse igennem, kaldes det rent gult; naar kun de røde (sammen med de gule) gaar igennem: rødgult o. s. v. Tabel II.

TABEL II.

Farven:	Lyserødt	Lysegult	Lysegrønt	Lyseblaat
bestaar af	Rødt (kp. grønt)	Rødt	Gult	Rødt
	Gult	Gult (kp. blaat)	Grønt (kp. rød-violet)	Grønt
	Blaat	Grønt	Blaat	Blaat (kp. gult)

Farvestoffet absorberer efter Tabellen kun den komplementære Farve (Straaler). Heraf følger nu forskellige Forhold. Ved Blan-

Digitized by Google

dinger af Farvestoffer drejer det sig saaledes altid om Subtraktion af Farveindtryk. Ved Farvestraaler derimod om Addition. Der fremkommer en Subtraktionsfarve og ikke en Additionsfarve, og Blandingsfarven bliver altid mørkere. Det er ogsaa klart, at blandes et Farvestof, der kun lader rødt passere igennem, med et andet, der kun lader blaat gaa igennem, saa maa Farven af Blandingen blive sort.

Vender vi os nu fra disse fysiske Betragtninger til de mere kemiske Forhold, saa kan man faa en praktisk-kemisk Opfattelse af Farvestofferne paa følgende Maade: En fortyndet vandig Opløsning af Kaliumdikromat, Azobenzolsulfonsyre og Metylorange har alle tre samme rødgule Farve. Dypper vi en hvid Uldtraad i hver af disse Opløsninger og vadsker den derpaa ud med Vand, saa forsvinder Farven, som stammer fra Kaliumdikromat og fra Azobenzolsulfonsyren, men ikke den fra Metylorangen (Forsøg). Man siger derfor, at Metylorange er et Farvestof. De to andre er vel farvede, men ikke Farvestoffer. Et Farvestof er en farvet Forbindelse, der i opløst Form »bindes« af Plante- eller Dyrevæv, som Bomuld, Uld, Silke, Læder, Horn eller Fjer. Altsaa enhver farvet Forbindelse er ikke et Farvestof, heller ikke Okker, Kromgult, Ultramarin o. s. v., der kræver et Fixativ for at fæstes paa Tøjet.

De allerfleste Farvestoffer efter denne Definition kan betegnes som Tjærefarvestoffer, idet de allerfleste vindes af Produkter af Stenkulstjæren. Derimod er Navnet Anilinfarvestoffer mindre heldigt.

Vil man nu forsøge at forklare, hvorfor nogle Forbindelser er farvet, medens andre ganske lignende ikke er det, saa maa det først og fremmest erindres, at ethvert Stof har sit karakteristiske Absorptionsspektrum, viser selektiv Absorption, og i udvidet Forstand er altsaa ethvert Stof farvet. Det er imidlertid kun de Stoffer, der har stærk Absorption i den synlige Del af Spektret, der har praktisk Interesse for Farvestofkemien. Det har saa vist sig, at visse Atomgrupper (de saakaldte Kromoforer), fremkalder synlig Farvethed (Absorption). Det var af stor Vigtighed for hele denne Opfattelse, da det viste sig, at selve Benzolet viste Absorption i den ultraviolette Del af Spektret. Indføres i et Benzolmolekyl visse Atomgrupper eller Radikaler, de saakaldte Kromoforer, forskydes Absorptionen til den synlige Del af Spektret, og vi har saa en

Digitized by Google

farvet Forbindelse [1]). Men Evnen til at være et farvet Stof ligger altsaa i selve Benzolet. Frembringer den kromofore Gruppe en Forskydning af Absorptionsbaandet fra det ultraviolette ind i det violette (altsaa fra den mere brydbare Del af Spektret til den mindre brydbare), saa viser Stoffet gul Farve o. s. v. Endvidere har det vist sig, at jo større Molekylet af den aromatiske Kulbrinte, der danner den farvede Forbindelse, er, og jo fattigere paa Brint, desto stærkere er Virkningen af en Kromofor. Det er derfor kun naturligt, at en simpel aromatisk Forbindelse er farveløs (Benzofenon), selv om den indeholder en Kromofor Gruppe som $= CO$ (Ketogruppen), medens en saadan Gruppe i en aromatisk Kulbrinte med stort Molekyl eller en, der er mere brintfattig (Fluorenon), eller naar der forekommer to Kromoforer, maa fremkalde en tydelig Farve (Benzil-Anthrakinon. — Se Tabel III).

Det er ligeledes let forstaaeligt, at simplere sammensatte Farvestoffer er gule, medens mere sammensatte med højt Molekyl og flere Kromoforer eller begge samtidigt er røde eller blaa. Absorptionsbaandene rykker i første Tilfælde fra ultraviolet til violet; i andet til grønt eller ind i gult eller rødt (se Tabel III og Tabel IV).

Det er den fornylig afdøde tyske Forsker Otto N. Witt, der paa Grundlag af Graebe og Liebermanns Arbejder over Farvestoffer har opstillet Kromoforteorien.

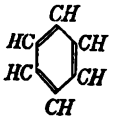
Witt kalder en Forbindelse, som indeholder Kromoforer, for en Kromogen.

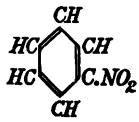
Efter H. Ley har jeg her anført en Sammenstilling af de vigtigste Kromoforer:

TABEL III.

Kromofore Grupper (H. Ley).

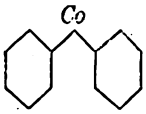
1) $>C{=}C<$ 2) $=CO$ 3) $=C{-}N-$ 4) $-N{=}N-$ 5) $-N(=O){=}N-$ 6) $-N{=}O$ 7) $-N\langle{}^{O}_{O}$ 8) $=C{=}S$ 9) $=C_6H_4=$ [2]) *o*- og *p*-Gruppe

[1])  Benzol (farveløs)

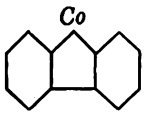
 Nitrobenzol (gulligt)

[2]) Af typografiske Hensyn skrives den kinoide Gruppe saaledes.

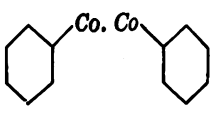
Digitized by Google



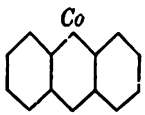
Benzofenon
(farveløst)



Fluorenon
(lysegult)



Benzil
(lysegult)



Anthrakinon
(gult)

$HSO_3 \cdot C_6H_4 \cdot N{=}N \cdot C_6H_4 \cdot OH$
Benzolsulfonsyreazofenol (gul).

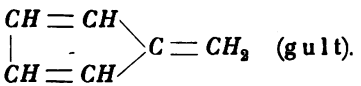
$HSO_3 \cdot C_6H_4 \cdot N{=}N \cdot C_{10}H_6 \cdot OH$
Naftolorange.

$HSO_3 \cdot C_{10}H_6 \cdot N{=}N \cdot C_{10}H_6 \cdot OH$
Ægterødt. A.

$HSO_3 \cdot C_{10}H_5(OH) \cdot N{=}N \cdot C_6H_3(CH_3) \cdot C_6H_3(CH_3) \cdot N{=}N \cdot C_{10}H_5(OH) \cdot SO_3H.$
Azoblaat.

1. Æthylengruppen: $>C{=}C<$. Selve Æthylenet er farveløst; absorberer dog maaske i det yderste ultraviolette (H. Ley). Derimod optræder der Farve ved ringformet Ordning af flere Æthylenbindinger. Saaledes ved Fulven [1]):

[1]) Joh. Thiele Ber. 33, 666, 1900.



$CH{=}CH$
$CH{=}CH$ $>C{=}CH_2$ (gult).

Det er isomert med Benzol.

At Benzol til Trods for sine Æthylenbindinger (efter Kekulé's Formel) dog er farveløst, kan maaske forklares ved den mindre tætte rumlige Ordning. Benzol absorberer dog i det ultraviolette og ofte fremkommer der Farve hos en Forbindelse, naar der indføres en Benzolkerne.

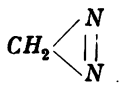
2. Karbonylgruppen: $=CO$. Alm. Aldehyder og Ketoner absorberer kun i Ultraviolet. Alifatiske Diketoner som $CH_3CO \cdot CO \cdot CH_3$ er gule. Triketoner (f. Eks. $CH_3CO \cdot CO \cdot CO \cdot CH_3$) er orange.

3. Gruppen: $=C{=}N$. Denne Gruppe er kun svag kromoforisk, men viser sig tydelig i Benzylidenanilin

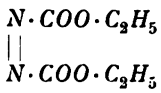
$$C_6H_5 \cdot CH : N \cdot C_6H_5.$$

4. Azogruppen: $-N{=}N-$, er den vigtigste af alle Kromoforer (Azofarvestofler).

Digitized by Google

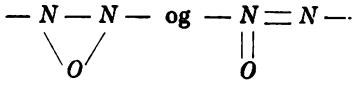


Diazomethan
(gult)



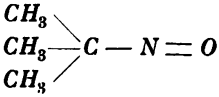
Diazokarbonsyreæthylæther
(gult)

Der skal dog ogsaa findes farveløse Azoforbindelser.

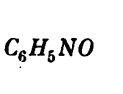
5. Azoxygruppen:  og

er kun en svag Kromofor.

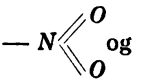
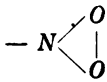
6. Nitrosogruppen: $-N=O$ ved direkte Binding til C er den en stærk Kromofor.



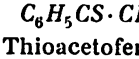
Nitrosotertiærbutan
(blaa)



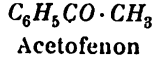
Nitrosobenzol
(grøn)

7. Nitrogruppen:  og  . Nitrobenzol er gullig. Absorptionen er her forskudt fra ultraviolet til den synlige Del af Spektret. Ætylenbindingerne i Benzolet og Nitrogruppen understøtter gensidigt hinanden.

8. Thiokarbonylgruppen: $=C=S$. Denne Gruppe har en stærkere kromofor Virkning end Karbonylgruppen.



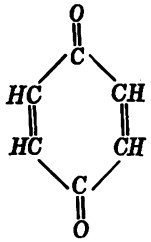
Thioacetofenon
(blaa)



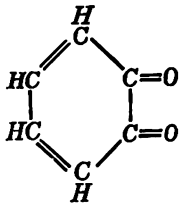
Acetofenon
(farveløs)

9. Kinoide Binding: Den saakaldte kinoide Atomgruppering anses for at være Grunden til Farven hos mange Farvestoffer. *o*-Kinon er mørkere farvet end *p*-Kinon. Dette skyldes sandsynligvis den større rumlige Nærhed af $=C=O$.

Digitized by Google



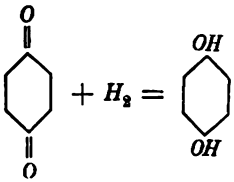
p-Kinon.



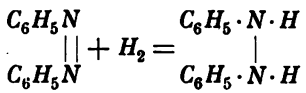
o-Kinon.

m-Forb. (eksisterer ikke)

Flere Kromoforer har stærkere Virkning end man skulde antage efter Virkningen af den enkelte. De forstærker gensidigt hverandre. Alle Kromoforer udmærker sig ved at have Dobbeltbindinger (umættede), der derfor maa anses for Aarsagen. Hæves Dobbeltbindingen, saa forsvinder Farven:



Kinon (gul) — Hydrokinon (farveløs)



Azobenzol (rød) — Hydrazobenzol (farveløs)

Selvstændige ($-N=N-$) og uselvstændige ($=CO$) Kromoforer betegner ikke en principiel Forskel, men kun en graduel Forskel. Det er Kauffmann, der har indført disse Betegnelser.

Auxokromteori (O. N. Witt). Ved alle farvede Forbindelser forandres Farven, naar der indføres nye Grupper, ogsaa naar disse ikke er Kromoforer.

Særlig Virkning har f. Eks.: OH, NH_2. Saadanne Grupper kalder Otto N. Witt auxokrome Grupper. En auxokrom Gruppe bevirker for det meste en Forskydning af Absorptionsbaandene enten til den Side i Spektret med de korte Bølgebredder (violette) eller til den med de større Bølgebredder (røde). Forskydes Absorptionen til den violette Side tales der om en Forhøjelse af Farven eller en hypsokrom Virkning; til den anden Side derimod om en bathokrom Virkning eller en Farvefordybelse. Den tyske Navnebrug

Digitized by Google

Erhöhung og Vertiefung i denne Forbindelse er ret uheldig. Den skal kun sige noget om Retningen af Forskydningen af Absorptionsbaandene, men Tanken føres uvilkaarlig hen paa Intensitet og Ekstinktion. Ogsaa den subjektive Farveopfattelse er i Strid med denne Brug. Man opfatter ikke Forskydningen fra grønt til blaat som en Farbeerhöhung. Derimod falder ved Forskydningen fra rødt til gult Betegnelse og Opfattelse sammen.

Bathokromt virker $-OH, NH_2$ (ogsaa $-N(CH_3)_2$ og $-N(C_2H_5)_2$) Alkyler og Aryler (Nietzki) og svagt Halogener. Hypsokromt virker: Acyler: CH_3CO, C_2H_5CO.

TABEL IV.

Virkningen af en auxokrom Gruppe.

Bølgebredde $\mu\mu$	Spektrum	komplementær Farve		
til 395	ultraviolet	—		
395—425	violet	grøngul		
425—455	indigo	gul		
455—490	blaa	orange		
490—510	blaagrøn	rød		
510—530	grøn	purpur		
530—550	grøngul	violet		
550—590	gul	indigo		
590—645	orange	blaa		
645—725	rød	blaagrøn		
725—810	purpur	grøn		
810—60,000	ultrarød	—		

Bathokrom Virkning

Hypsokrom Virkning

Tidligere (Otto N. Witt) forklarede man Virkningen af de auxokrome Grupper ved, at Molekylet blev tungere, nu derimod mest ved at antage, at Aarsagen ligger i den auxokrome Gruppes Reaktionsevne eller større kemiske Aktivitet. Der finder en Affinitetsudveksling Sted mellem de to Grupper. Joh. Thieles Teori om de konjugerede Dobbeltbindinger spiller her en Rolle; ogsaa gennem Saltdannelse og Ændring i Dissociationsgrad kan den auxokrome Virkning forklares.

Efter Otto N. Witt kan man altsaa faa følgende Definition paa et Farvestof: Indføres i en aromatisk Kulbrinte en kromofor Gruppe,

Digitized by Google

saa faas en Forbindelse, der kaldes en Kromogen. Indføres nu en auxokrom Gruppe i en Kromogen, saa har vi Farvestoffet.

TABEL V.

Inddeling af Farvestofferne.

1) $-NO_2$, Nitrogruppen. 2) $-N=N-$, Azogruppen.
3) $>C=O$, Ketogruppen. 4) $>C=C<$, Ætylengruppen.

Hertil slutter sig:

$-N(=O)=N-$, Azoxygruppen. $>C=NH$, Ketonimid.

$>C\cdot N\cdot OH$, Ketoxim. $>C=S$, Tioketon. $O=C_6H_4=O$ [1], *o*- og *p*-Kinon.

$O=C_6H_4=NH$, Kinoimid. $HN=C_6H_4=NH$, Kinodimid.

$O=C_6H_4=N\cdot OH$, Kinoketoxim. $HN=C_6H_4=N\cdot OH$, Kinoimidketoxim.

$CH_2=C_6H_4=O$, Kinometan. $CH_2=C_6H_4=NH$, Metylenkinoimid.

$O=C_6H_4=S$, Tiokinon.

Inddeling af Farvestoffer. Et klart Overblik over det store og vanskelige Omraade, Farvestoffer, faar man ved at inddele efter de kromofore Grupper. Dersom et Farvestof indeholder forskellige Kromoforer, saa findes det indrangeret blandt dem, der giver det særlig Farvestofkarakter. Som Eksempel kan nævnes:

$$NO_2-C_6H_4-N=N-C_6H_3\begin{matrix}OH\\COOH\end{matrix}$$

Nitrobenzolazosalicylsyre.

Det indeholder Kromoforerne: $-NO_2$ og $-N=N-$ og omtales derfor under Azofarvestofferne.

$$C_6H_4\begin{matrix}CO\\NH\end{matrix}>C=C<\begin{matrix}CO\\NH\end{matrix}C_6H_4$$

Indigo,

[1] I det Følgende skrives den kinoide Gruppe saaledes af typografiske Hensyn.

Digitized by Google

der indeholder Kromoforerne, $>CO$, og $>C=C<$ omtales derfor under Ketonfarvestofferne.

Farveteorier. Lægges Uld eller Silke i en vandig Opløsning af Fuksin (Navnet kommer af »Fuchsia«) faar de en meget stærk Farve, som ikke kan udtrækkes ved Vadskning med rent Vand. Derimod farves en Bomuldstraad kun svagt rød, og Farven fjernes igen let ved Vadskning. Har Bomuldstraadene derimod først været dyppet i en Opløsning af Garvesyre, farves den ganske som de andre to. Krap kan hverken farve Silke, Uld eller Bomuld, uden at disse først er bleven behandlet med Aluminium-, Ferri- eller Kromiforbindelser. Man plejer derfor at inddele Farvestofferne i de substantive, der direkte forbinder sig med Taverne og de adjektive, der fordre et Hjælpemiddel (Bejdse). Inddelingen kan dog ikke gennemføres. Samme Farvestof kan være substantivt overfor en Slags Taver og adjektivt overfor andre, som Eksemplet med Fuksin viser. Farver man Taver med et Farvestof, der er substantivt overfor dem, faar de samme Farve som Opløsningen af Farvestoffet havde, men er man nødt til at bruge en Bejdse, saa forandres Farven som Regel. Og man kan ofte med et og samme Farvestof frembringe en hel Række forskellige Farver ved at bruge forskellige Bejdser, f. Eks. Alizarin. Saadanne Farvestoffer kaldes polygenetiske, i Modsætning til monogenetiske, der giver samme Farve med forskellige Bejdser. Bejdser virker paa den Maade, at de med Farvestofferne danner uopløselige Forbindelser, de saakaldte Farvelakker, som er dannede inde i selve Tavernes Porer. Ved en god Bejdsefarvning drejer det sig om kolloidal Opløsning, altsaa af rent mekanisk Art. Det har ikke været mulig at opstille en enkelt Teori, der kan forklare alle Farvemetoder. Der hersker tværtimod de mest modstridende Anskuelser. F. Eks.: 1) Farvningen bestaar i en Saltdannelse, en kemisk Proces, som foregaar i Taverne, da det, som skal farves, enten kan opfattes som Syre eller Base. Uld og Silke er jo i Slægt med Æggehvidestofferne, der viser amfoter Reaktion (Aminosyrerne). Saltet, der dannes med Taverne, er uopløseligt. Der bruges Navne som: »Uldsurt«, Fuksin eller »Kongosurt« Uld til at betegne Meningen. 2) Fysisk Proces: Opløsning af Farvestoffet i Tavernes Substans. Ikke sjeldent maa man forestille sig begge Processer samtidigt. Saaledes forklares Bomuldsfarvningen med de substantive Bomuldsfarvestoffer.

Digitized by Google

Man taler ogsaa om fast kolloidal Opløsning og sammenligner med den bekendte Udrystningsmetode med bestemt Fordeling af Farvestoffet mellem de to Medier.

Det er ikke nok, at et Farvestof kan farve; der maa ogsaa stilles Krav til det i andre Retninger, saaledes til: Ægthed: Vadskægthed, Lysægthed, Svedeægthed, Syre- og Alkaliægthed og endelig Giftighed. Navnene forklarer jo tilstrækkeligt Meningen.

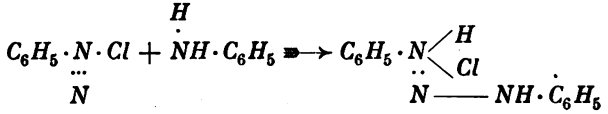
Analytisk Undersøgelse og kvantitativ Bestemmelse af Farvestofferne. Bestemmelsen af et Farvestof paa Taverne eller i Substans er en Opgave, der ofte stilles Koloristen, og denne kan oftest løses tiltrods for det store Antal Farvestoffer, der findes i Handelen og ofte i kort Tid og med faa Reaktioner. Der hører dog hertil grundige, almindelige kemiske Kundskaber og stor Erfaring paa Farvestofkemiens Omraade. Her kan kun antydes, hvilke Veje og Midler, der anvendes. Ethvert Farvestof har i Opløsning et ganske bestemt Absorptionsspektrum. For nogle er dette saa karakteristisk, at man straks kan kende dem i Spektroskopet. For andre er dette ikke Tilfældet, men de forraader sig saa ved paafaldende Ændringer i deres Spektrum ved Tilsætning af Syrer eller Alkalier eller Salte. Atter andre egner sig overhovedet ikke til spektroskopisk Iagttagelse. Naturligvis bliver Undersøgelsen besværligere, dersom der foreligger Blandinger. Saa bruges kapillar analytiske Forsøg. Der hænges Strimler af Filtrerpapir saaledes op, at den nederste Eude dypper ned i Farvestofopløsningen. Foreligger der kun et Farvestof, saa suges dette i Vejret med stedse svagere Farve opefter. Er der derimod flere Farvestoffer til Stede, saa er Hastigheden, hvormed Opløsningen suges op, og efter længere Tid Højden, der naas, forskellig for hvert enkelt Farvestof, og Farven paa Strimlerne ændres trinvis opefter. Ofte kan man kende et Farvestof enten paa Taverne eller i Substans gennem dets Forhold: 1) overfor neutrale Opløsningsmidler — Vand, Alkohol, Æther — 2) ved Fluorescens, 3) ved den Farve, der fremkommer i konc. Svovlsyre, 4) ved Farveforandringen med Alkalier, Syrer, Bejdser, Iltningsmidler og Reduktionsmidler, 5) ved Evnen til at farve Uld og ikke Bomuld eller omvendt.

Den kvantitative Analyse udføres i Kolorimeter eller ved Prøvefarvning, men hertil hører særlig Øvelse og stor Erfaring.

Digitized by Google

Uden at komme ind paa Fremstillingen i al Almindelighed af de Grundsubstanser (eller som Tyskerne siger Bausteine), som danner Udgangspunktet for Fremstillingen af Farvestoffer og Fremstillingen af disse selv, er det maaske værd at omtale den uhyre vigtige Koblingsreaktion, der vel nok er den vigtigste Reaktion indenfor hele Farvestofkemien.

Lader man Diazobenzolklorid indvirke paa Anilin under passende Forhold, saa sker der følgende:



Heraf opstaar:

$$C_6H_5 \cdot N = N \cdot NH \cdot C_6H_5$$

Diazoamidobenzol.

Dette omlejres. Omlejringen afhænger af Syrens Koncentration og Mængden af Anilin. Jo mere af disse, desto stærkere Omlejring. Der opstaar:

$$C_6H_5 \cdot N = N \cdot C_6H_4 \cdot NH_2$$

p-Aminoazobenzol eller Anilingult.

Anilingult har orange Farve og indeholder den kromofore Gruppe, $-N=N-$, og den auxokrome Gruppe, $-NH_2$. Det er den simpleste Repræsentant for Azofarvestofferne, og det bruges til Farvning af »Silke«papir. Koblingen kaldes en para-Kobling, fordi Aminogruppen staar i para-Stilling til Azogruppen.

I Farvestofkemien kan man nu snart sagt koble alt muligt og paa alle mulige Maader.

Herefter skal omtales Richard Willstätters — vel nok vor Tids største Eksperimentator — Opklaring af Konstitutionen af Anilinsort, der opstaar ved Iltning af Anilin med Kromsyre. Denne Reaktion har stor historisk Interesse, thi ved Iltning af urent Anilin med Kaliumdikromat og Svovlsyre fik W. H. Perkin (1856) et sort Bundfald, der opløses i Alkohol med blaaviolet Farve. Denne Opløsning er det første teknisk fremstillede Anilinfarvestof. Det kaldtes Mauve eller Mauveïn, hvilket Navn stammer fra Navnet paa den Plante, der paa Engelsk hedder mauve, paa Latin Malva

Digitized by Google

og paa Dansk er kendt under Navnet Katost, en Slags Stokrose.

Willstätter gik ud fra:

$$C_6H_5 \cdot NH \cdot C_6H_4 \cdot NH_2$$

p-Aminodifenylamin,

som med Sølvilte i Æther giver:

$$C_6H_5 \cdot N = C_6H_4 = NH$$

Fenylkino-di-imid (gult) eller Caro's gule Imid. To Molekyler af dette polymeriserer sig i sur Opløsning til et Stof, der bliver blaat med Mineralsyrer:

$$C_6H_5 \cdot N = C_6H_4 = N \cdot C_6H_4 \cdot NH \cdot C_6H_4 \cdot NH_2$$

Emeraldinblaat eller Willstätters blaa Imid. Dette oxyderes med Sølvilte eller Blyoverilte i Æther til:

$$\underset{1}{C_6H_5 \cdot N = C_6H_4 =} N \cdot C_6H_4 \cdot \underset{2}{N = C_6H_4 = NH}$$

Willstätters røde Imid.

Her findes kun kromofore Grupper (de kinoide Grupper — 1 og 2), medens Emeraldinblaat ogsaa indeholder den auxokrome Gruppe, $-NH_2$, og derfor er blaat. Aminogruppen virker jo bathokromt.

Det røde Imid polymeriserer sig atter med Mineralsyrer, og der dannes:

$$\underset{1}{C_6H_5 \cdot N = C_6H_4 =} N \cdot C_6H_4 \cdot \underset{2}{N = C_6H_4 =} N \cdot C_6H_4 \cdot NH \cdot C_6H_4 \cdot NH \cdot C_6H_4 \cdot \underset{3}{N = C_6H_4 = NH}$$

Trikinoidsort eller Polymerisationsort. De tre kinoide Grupper er betegnede med 1, 2 og 3.

Dette Stof er identisk med det Anilinsort, der opstaar ved Iltning af Anilin med Kromsyre (R. W.). Det er den simpleste Repræsentant for Anilinsortgruppen. Det indeholder 8 Ringe, nemlig 3 Kinonringe og 5 Benzolringe.

Ved Iltning af Trikinoidsort opstaar:

$$\underset{1}{C_6H_5 \cdot N = C_6H_4 =} N \cdot C_6H_4 \cdot \underset{2}{N = C_6H_4 =} N \cdot C_6H_4 \cdot \underset{3}{N = C_6H_4 =} N \cdot C_6H_4 \cdot \underset{4}{N = C_6H_4 = O}$$

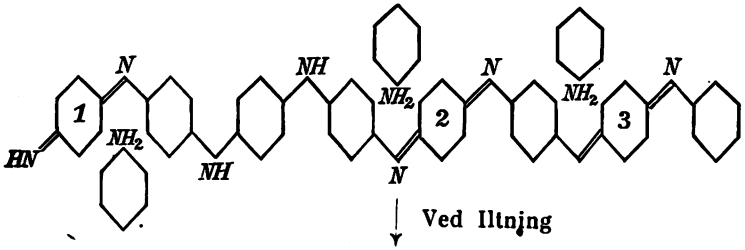
Digitized by Google

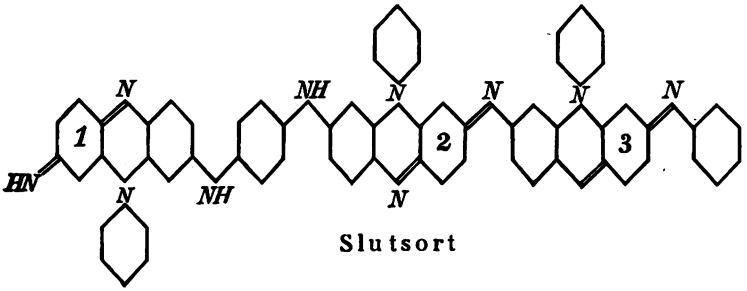
Tetrakinoidsort eller Hydrolysesort. Dette »forgrønnes« ikke, hvad sorte Farvestoffer som bekendt er tilbøjelige til, og Grunden dertil er, at det ikke indeholder Aminogrupper og derfor ikke danner Salte.

Ved længere Hydrolyse opstaar Kinon ved alle Kinoimidgrupperne, og man forstaar derigennem, hvorfor der af Anilin med Kromsyre ved længere Hydrolyse kun dannes Kinon.

Endelig er der saa »Slutsort« eller »Kloratsort«, som Green har fremstillet, og hvis Konstitution altsaa Willstätter har opklaret. Det faas ved højere Temperatur, »forgrønnes« ikke og kaldes derfor ogsaa Ægtsort.

Det dannes af et Molekyl Trikinoidsort og 3 Molekyler Anilin.





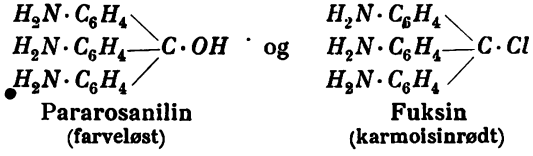
Slutsort bruges til Tøjtrykning. Man fremstiller en Klister af saltsurt Anilin, Kaliumklorat og lidt Kuprisulfid eller Vanadinsyre (som Katalysatorer). Hermed trykkes paa Tøjet, der saa anbringes i en Ovn, og nu dannes der ved højere Temperatur »Slutsort«.

Slutsort ligger vel nok ved Grænsen af, hvad man kan vente opklaret ad konstitutiv Vej (R. W.). Det indeholder 14 Ringe.

Der har flere Gange været talt om de saakaldte kinoide Formler, der skyldes Nietzki. Der er dog endnu mange, der ikke vil anerkende dem.

Digitized by Google

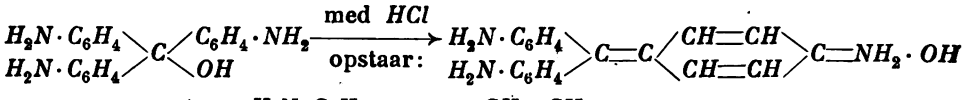
Det simpleste og naturligste siger S. M. Jørgensen er at opfatte Di- og Trifenylmetanfarvestofbaserne som Karbinoler og selve Farvestofferne som Alkylsalte, saaledes:

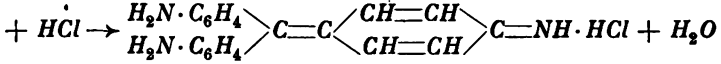


Pararosanilin (farveløst) og Fuksin (karmolsinrødt)

Det synes dog saare mærkeligt, at alene Ombytningen af en *OH*-Gruppe med *Cl* har en saa stærk Farvevirkning til Følge. Dette kendes ellers ikke. A. v. Baeyer antager derfor, at der opstaar en særlig Slags Binding, som kan skrives saaledes: ~~~~

Andre har dog ment, at Farvefremkomsten bedre forklares ved den kinoide Skrivemaade, og de kinoide Formler vinder da ogsaa mere og mere Indpas. Ovenstaaende skrives derefter saaledes:





Fuksin (Nietzki).

Der kan dog anføres adskillige Argumenter for begge Opfattelser.

Farvestoffabrikkerne har foruden paa deres egentlige Omraade haft uhyre stor Betydning paa et helt andet Felt, nemlig for Fremstillingen af de moderne Lægemidler.

En hel Del af de Grundsubstanser, der fremstilles i disse Fabrikker, tjener tillige til Fremstilling af Lægemidler.

Man kan saaledes sige, at en hel Del af de moderne Lægemidler har deres Oprindelse fra Farvestoffabrikkerne. Der behøves blot at nævnes Navne som: Antipyrin, Aspirin, Fenacetin, Veronal, Adrenalin o. s. v. Hvad Farvestoffabrikkerne har været brugt til under Krigen, ved jo enhver.

Digitized by Google

Danske Eksamensopgaver.

Studentereksamen i Maj—Juli 1919.

Skriftlig Fysik for Privatister.

Der ønskes en kortfattet Besvarelse af nedenstaaende Spørgsmaal. Besvarelserne skal forsynes med samme Nummer som de tilsvarende Spørgsmaal, hvis Ordlyd ikke behøver at gengives.

1) 5 Kilo falder frit gennem 20 m og standses da af en konstant Modstand i Løbet af $^1/_2$ Sek. Hvor stor er den konstante Modstand? Tyngdens Acceleration sættes = 10 m.
2) Et Legeme uden Begyndelseshastighed vejer 5 g og paavirkes af en Kraft paa 2 Dyn; hvor langt gaar det i 3 Sek.?
3) En Isflage paa 8 m^2 med Tykkelsen 2 dm svømmer paa fersk Vand og er belastet saaledes, at Flagens Overflade er i Flugt med Vandspejlet. Hvor stor er Belastningen? Vandets Vægtfylde sættes til 1, Isens til 0,9.
4) Hvoraf afhænger Trykket i en stillestaaende, letflydende Vædske?
5) Hvad hedder Newtons Lov om den almindelige Tiltrækning, og hvad betyder Konstanten i den?
6) Til 3 Ledere med henholdsvis 1, 2 og 3 Ohm's Modstand føres en Strøm paa 6 Amp.
   a) Hvor stor er Ledernes samlede Modstand, hvis de forbindes i Række, og hvor stor, hvis de forbindes parallelt?
   b) Hvilken Strøm gaar i de 2 Tilfælde gennem hver enkelt Ledning?
   c) Hvilken Spændingsforskel findes mellem Endepunkterne af hver Ledning i de 2 Tilfælde?
   d) Hvor mange Watt afsættes i hver enkelt Ledning i de 2 Tilfælde?
7) Hvilke forskellige Spektra kender De? Til hvilken af disse Arter hører Solens Spektrum?
8) Hvad vil det sige, at et Legeme fluorescerer? Nævn nogle fluorescerende Stoffer.
9) Hvad forstaar man ved Grænsevinklen for den fuldstændige Tilbagekastning? Hvorledes kan man finde Grænsevinklen ved Berøringsfladen Glas—Vand, naar Brydningsforholdet for Vand er $^4/_3$, for Glas $^3/_2$?

Digitized by Google

10) Hvad forstaas ved Transformatorer? Nævn Eksempler paa, hvad de kan bruges til.

11) En Enhedspol ligger udenfor en Staalmagnet i dennes Akse, 30 cm fra dens Midte, og paavirkes af Staalmagneten med en Kraft paa 0,3 Dyn. Hvor store er Magnetismemængderne i Magnetens Poler, naar dens Moment er 3200?

12) Hvor stor er Bølgebredden for en Tone med Svingningstal 400 i atm. Luft à 0^0?

Løsninger.

1. Ved Faldet opnaas Hastigheden $h = 20$ m/Sek.; da den tabes i $t = \frac{1}{2}$ Sek., er Accelerationen $g = 40$ m/Sek.^{2} og Modstanden $k = mg = \frac{6}{10} \cdot 40 = 20$ Kilo.

2. Accelerationen $g = \frac{2}{5}$ cm/Sek.^{2} Vejen $= \frac{1}{2}gt^2 = \frac{2}{5}$ cm

3. 160 kg.

6. a) I Række 6 Ohm, parallelt $\frac{6}{11}$ Ohm.
   b) I Række 6 Amp. gennem hver Modstand, parallelt henholdsvis $\frac{36}{11}$, $\frac{18}{11}$ og $\frac{12}{11}$ Amp. gennem de tre Modstande.
   c) I Række henholdsvis 6, 12 og 18 Volt; parallelt $\frac{36}{11}$ Volt mellem hver Leders Endepunkter.
   d) I Række henholdsvis 36, 72 og 108 Watt, parallelt henholdsvis $\frac{1296}{121}$, $\frac{648}{121}$ og $\frac{432}{121}$ Watt.

11. Af Udtrykket for Kraften paa Enhedspolen, $k = \dfrac{2Ma}{\left(a^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2}$, hvor $M = 3200$, $a = 30$, og l betegner Afstanden mellem Magnetens Poler, faas $l = 20$ cm, følgelig Magnetismemængden i en af Polerne $\dfrac{M}{l} = 160$ abs. Enheder.

12. 0,83 m.

Skriftlig Kemi).*

I. Hvad hedder Le Chateliers Sætning?
Forklar ved Eksempler, hvorledes man ved at anvende denne Sætning kan forudse, i hvilken Retning en reversibel (reciprok) Omsætning vil gaa, hvis man forstyrrer Ligevægten ved at forandre:

*) Kun for 4 Skoler efter speciel Tilladelse.

Digitized by Google

a) Temperaturen,
b) Trykket,
c) Stofmængderne.

II. 1. Hvorledes spaltes Karbonater ved Ophedning?
2. Hvilke Karbonater spaltes ikke ved Ophedning?
3. Hvorledes spaltes Sølvkarbonat ved Ophedning?

III. Skriv Luftarternes Tilstandsligning.
Find Rumfanget af 8,5 g NH_3 ved 27° C. og 780 mm Tryk. (N = 14).

IV. En Opløsning indeholder Sølvjoner og Sulfatjoner. Hvorledes kan man paavise Sulfatjonerne?

V. Skriv Omsætningen: Kaliumpermanganat + Svovlsyre + Oxalsyre.

VI. Hvor mange l Kuldioxyd (ved 0° og 760 mm) kan fremstilles af 300 g Kalkiumkarbonat. (Ca = 40, C = 12, O = 16).

Løsninger.

III. 12 l.

VI. 67,2 l.

1. Del af polyteknisk Eksamen 1919.

Fysik I.

1. To lukkede Beholdere *A* og *B* har Rumfangene u cm³ og $^1/_2\ u$ cm³ og indeholder henholdsvis v cm³ og $^1/_2\ v$ cm³ Vand; over Vandet staar der Luft. To Rør danner Forbindelse, det ene foroven mellem de to Luftrum, det andet forneden mellem de to vandfyldte Rum. Temperaturen er 20° C. i begge Beholdere. Idet man bringer Vandet i Kog i *A* og køler *B*, finder man, at Temperaturen bliver 100° C. overalt i *A* og 50° C. overalt i *B*. Hvor stort var Luftens Tryk *P* i Beholderne, da Temperaturen var 20°? Mættet Vanddamps Tryk er 17,5 mm Kvægsølvtryk ved 20° og 92,5 mm ved 50°.

   Der sees bort fra Vandets og Beholdernes Rumforandringer samt fra Luftens Absorption i Vandet, fra den Vandmængde, som fugter Beholdernes Vægge, og fra Rørenes Rumfang. Man kan forudsætte samme Tryk i *A* og *B* ogsaa under Kogningen.

2. En homogen cirkulærcylindrisk Stang af Længde l og Masse m er anbragt paa et vandret Underlag. I Stangens Endefladers

Digitized by Google

Centrer virker de to modsat rettede Kræfter k_1 og k_2 i Stangens Længderetning; Bevægelsen møder ingen Modstand. Hvilken Spænding vil der være tilstede i et Tværsnit, som ligger i Afstand $^2/_3\ l$ fra k_1's Angrebspunkt?

3. En Kikkert bestaar af en Objektivlinse og en Okularlinse, der begge er Samlelinser. Brændvidde og Diameter er for Objektivet p og D, for Okularet $^1/_2\ p$ og $^2/_3\ D$. De to Linsers Akseretninger og Brændpunkter er sammenfaldende. I Afstand 3 p foran Objektivets optiske Midtpunkt er der anbragt en uigennemsigtig Skærm, hvori der er udskaaret et cirkulært Hul med Centrum i Kikkertaksen og med Diametren D. Find et Udtryk for Vinklen v mellem Aksen og den yderste af de gennem Hullet paa Objektivet indfaldende Lysstraaler, som slipper gennem Kikkerten. Hvor stor en Del af Okularet bliver nyttig?

Logaritmetabel medtages.

Løsninger.

1. Da Vandet koger ved 760 mm Tryk, og Temperaturen overalt i A er 100°, maa Luftens Partialtryk i A være 0 under Kogningen. Hele Luftmængden befinder sig derfor i B, hvor dens Partialtryk er 760—92,5 = 667,5 mm. Tilstandsligningen giver da, idet P er det søgte Partialtryk:

$$\frac{\frac{3}{2}(u-v)\cdot P}{273+20} = \frac{\frac{1}{2}(u-v)\,667{,}5}{273+50}$$

$$P = \frac{667{,}5\cdot 293}{3\cdot 323} = 201{,}9 \text{ mm Kvægsølvtryk.}$$

2. Tænker man sig Stangen skaaret igennem i det omtalte Tværsnit, og tilføjes de to lige store og modsatte Spændinger S, som de to Dele af Stangen paavirker hinanden med, bliver Bevægelsesligningerne for de to Dele

$$\tfrac{2}{3}\,mg = k_1 - S,$$
$$\tfrac{1}{3}\,mg = S - k_2.$$

Ved Elimination af mg faas $S = \frac{1}{3}(k_1 + 2k_2)$.

3. Det Billede, som Objektivet danner af Skærmen, falder i Afstanden $\frac{3}{2}\,p$ fra Objektivet, altsaa i Okularet, og har Diametren $\frac{1}{2}\,D$, saa at det er mindre end Okularet. Enhver Straale fra Hullet i Skær-

Digitized by Google

men til Objektivet slipper derfor gennem Okularet. En af de søgte yderste Straaler bliver da Straalen fra det øverste Punkt i Hullet til det nederste Punkt af Objektivet; dennes Vinkel med Aksen bestemmes af $tg\, v = \frac{D}{3p}$. Af Okularet bliver Brøkdelen $\left(\frac{\frac{1}{2}D}{\frac{2}{3}D}\right)^2 = \frac{9}{16}$ nyttig.

Fysik II.

1. En Ring af Træ, begrænset af to cirkulære Cylinderflader med samme Akse og med Radierne 5 og 10 cm og af to derpaa vinkelrette Planer i 5 cm's indbyrdes Afstand, er jævnt beviklet med et enkelt Lag Ledningstraad paa 100 Vindinger.

   Find ved Hjælp af Maxwell's Sætning den magnetiske Kraft H inde i Ringen i Afstanden r cm $(5 < r < 10)$ fra Aksen, naar der gaar en Strøm paa i Ampère gennem Ledningen.
2. Hvor stor en Varme, Q Gramkalorier, vil der udvikles i Afbrydningsgnisten fra ovennævnte Ledning, naar i er lig 20 Ampère? Den øvrige Del af Ledningen er induktionsfri, og den samlede Ledningsmodstand betragtes som forsvindende i Forhold til Gnistens.
3. Ved 27° Celsius stiger de mættede Vanddampes Tryk med 1,56 mm Kvægsølv pr. Grad, Fordampningsvarmen er 588 Gramkalorier. Find ved Hjælp af Clapeyron's Formel Rumfanget af 1 g mættet Damp.

Løsninger.

1. Kraftlinjerne er Cirkler, der er parallele med de to Planer og har deres Centre i Aksen. Lader man en Enhedspol gaa een Gang rundt i en Kraftlinje med Radius r, bliver Arbejdet, $H \cdot 2\pi r$, ifølge Maxwell's Sætning $\frac{4\pi i 100}{10}$ Erg. Hvoraf $H = \frac{20i}{r}$ Gauss.
2. Der udvikles en Varmemængde lig Strømmens elektrokinetiske Energi, som er $\frac{\frac{1}{2} l i^2}{4{,}19}$ gramcalorie. Heri er $i = 20$ Amp., og l er Selvinduktionskoefficienten i Henry. For at finde denne sættes $i = 10$, Antallet af Kraftlinjer, der gaar gennem et Tværsnitselement af Ringen med Højden 5 cm og Bredden dr cm, bliver da

Digitized by Google

$\frac{200}{r} \cdot 5\,dr$. Det samlede Antal Kraftlinjer gennem et Tværsnit $\int_5^{10} \frac{200}{r}\,5dr = 1000 \log_{nat} 2$. l bliver derfor i absolut Maal $100 \cdot 1000 \log_{nat} 2$ lig $10^{-4} \log_{nat} 2$ Henry. Ved Indsættelse faas Varmemængden 0,00331 gramcalorier.

3. Af Clapeyrons Formel $\frac{dp}{d\vartheta} = \frac{L \cdot I}{(v_2 - v_1)\vartheta}$ faas ved Indsættelse af $\frac{dp}{d\vartheta} = 0{,}156 \cdot 13{,}6 \cdot 980{,}6\ \frac{\text{Dyn}}{\text{cm}^2}$, $L = 588$ cal, $I = 4{,}19 \cdot 10^7\ \frac{\text{Erg}}{\text{cal}}$, $\vartheta = 300^0$ Kelvin og $v_1 = 1$ cm^3, det søgte Rumfang v_2 cm^3. I Liter bliver det 39,5.

Til Læserne.

Fra næste Aargangs Begyndelse optages Hr. Adjunkt L. Christiansen, Ribe, som Medredaktør af *Fysisk Tidsskrift*, saaledes at han overtager Redaktionen af alle Spørgsmaal vedrørende Skoleundervisningen, medens Redaktionen af den øvrige Del af Tidsskriftet fortsættes som hidtil.

Vi haaber derved at have skabt Betingelser for et frugtbart Samarbejde mellem *Fysisk Tidsskrift* og Skolen.

Redaktørerne.

Digitized by Google

FYSISK TIDSSKRIFT

UDGIVET AF

SELSKABET FOR NATURLÆRENS UDBREDELSE

REDIGERET AF

H. M. HANSEN OG E. S. JOHANSEN

FOR SKOLESPØRGSMAALS VEDKOMMENDE AF

L. CHRISTIANSEN
RIBE

18DE AARGANG. 1919—1920

KJØBENHAVN
HOVEDKOMMISSIONÆR: JUL. GJELLERUP
TRYKT HOS J. JØRGENSEN & CO. (IVAR JANTZEN)
1920

Digitized by Google

Digitized by Google

INDHOLD.

Side

Andersen, Viggo, cand. mag., Assistent: Om Frembringelsen og Maalingen af smaa Lufttryk 12
Bjerknes, V., Professor, Dr. phil., Bergen: Om forutsigelse av regn . . . 161
Christiansen, L., Adjunkt, Ribe: Et Forsøg fra Lydlæren 191
— Se Anmeldelser
Fricke, H., cand. mag.: Röntgenstraalingens Betydning for den kvantitative kemiske Analyse 80
Hansen, H. M., Docent, Dr. phil.: Einsteins almindelige Relativitetsprincip 40
— Se Anmeldelser
Harding, M. C., Inspektør, cand. polyt.: Brev fra Rasmus Rask til H. C. Ørsted 84
Hartmann, Jul., Docent, Dr. techn.: Luftstraalen og dens Anvendelse til Frembringelse af Lydbølger 97
Holst, Helge, cand. mag.: Einsteins Relativitetsteori og vor Rum- og Tidsopfattelse 58
Jacobsen, J. C., cand. mag.: Se P. O. Pedersen.
Jepsen, H., Seminarielærer, Silkeborg: Elektrisk Spænding 155
Johansen, E. S., Docent: Se Anmeldelser.
Jul, Niels, Seminarielærer, Vordingborg: Fysik i Folkeskolen 25
Kramers, H. A., Dr. phil.: Se Anmeldelser.
Marke, A. W., mag. sc., Assistent: Se Anmeldelser.
Molin, Kurt, fil. lic., Assistent, Trondhjem: Om användning af elektriska strömlinjer i planet för demonstration af några egenskaper hos det elektrostatiska fältet 3
Odencrants, Arvid, Docent, Dr. phil., Stockholm: Se Anmeldelser.
Palitzsch, Sven, cand. polyt., Assistent: Lidt om Maalingen og Betydningen af draabeflydende og faste Stoffers Sammentrykkelighed . . 115
Pedersen, P. O., Professor: Nogle Eksempler paa Elektronteknik, refereret af cand. mag. J. C. Jacobsen 140
Petersen, Helge, Afdelingsmeteorolog: Et Varmeudvidelsesapparat 90
Sommerfeld, A., Professor, Dr. phil., München: En ensartet Opfattelse af Balmers og Deslandres' Serieled 33

Digitized by Google

Side

Thorup, A., Adjunkt, Horsens: Fysik og Sløjd. En Lampe-Fordelingstavle 86
Winther, Chr., Professor, Dr. phil.: Om Absorptionens Afhængighed af Lysstyrken 185
Aarets Nobelpristagere i Fysik 1
Professor A. Sommerfelds Besøg i Fysisk Forening 33
Danske Eksamensopgaver. I. Del af Skoleembedseksamen Sommeren 1919 29
Svenske Eksamensopgaver. Uppgifter i Fysik. Studentexamen V. T. 1919 93
— — — — — H. T. 1919 190

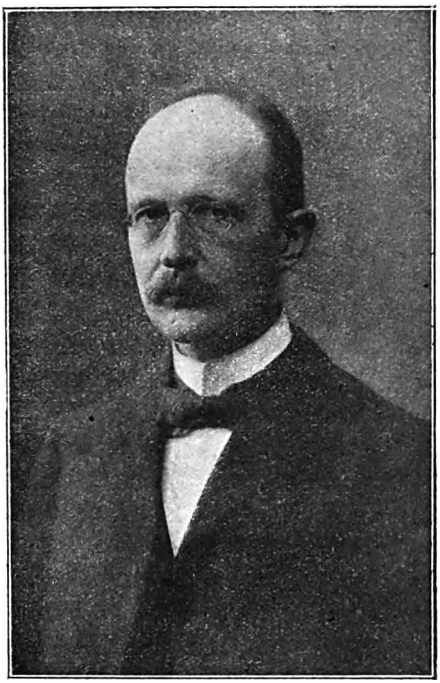
Fysik i Skolen.

Christiansen, L., Adjunkt, Ribe: Et Forsøg fra Lydlæren 191
Jepsen, H., Seminarielærer, Silkeborg: Elektrisk Spænding 155
Jul, Niels, Seminarielærer, Vordingborg: Fysik i Folkeskolen 25
Petersen, Helge, Afdelingsmeteorolog: Et Varmeudvidelsesapparat 90
Thorup, A., Adjunkt, Horsens: Fysik og Sløjd. En Lampe-Fordelingstavle 86
Svenske Eksamensopgaver. Uppgifter i Fysik. Studentexamen V. T. 1919 93
— — — — — H. T. 1919 190

Anmeldelser.

Bloch, E. Trepka: Beweis dass der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie nur beschränkte Gültigkeit hat. Anm. af Dr. phil. H. A. Kramers 200
Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik. Anm. af Docent E. S. Johansen 204
Planck, Max: Das Prinzip der Erhaltung der Energie. 3. Auflage. Anm. af mag. sc. A. W. Marke 32
Sommerfeld, A.: Atombau und Spektrallinien. Anm. af Docent, Dr. phil. H. M. Hansen 95
Sundorph, Th.: Lyslære for Gymnasiet. Anm. af Adjunkt L. Christiansen, Ribe 31
Winther, Chr.: Fotografiske Øvelser. Anm. af Docent, Dr. phil. Arvid Odencrants, Stockholm 192

Digitized by Google



MAX PLANCK.

Aarets Nobelpristagere i Fysik.

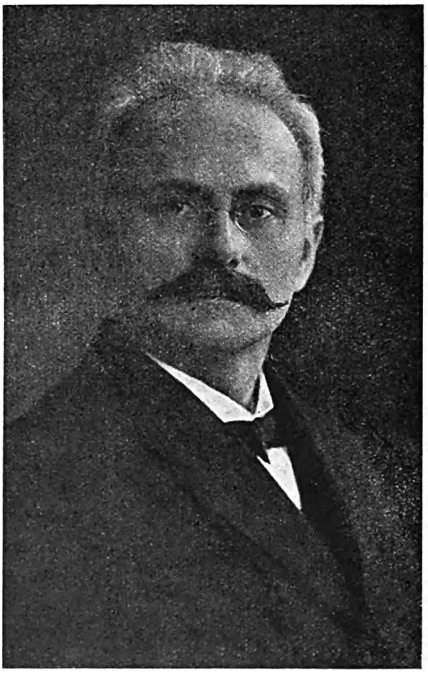
Af Dagspressen vil man have erfaret, at der i Aar uddeles 2 Nobelpræmier i Fysik, nemlig for 1918 til M. Planck, Berlin, og for 1919 til J. Stark, Greifswald. Da begges Hovedværk vil være Læserne vel bekendt fra tidligere Artikler i »Fysisk Tidsskrift«*), ind-

*) E. S. Johansen: Varmestraalingens Teori. 9. Aarg. S. 174 og 193.
F. Reiche: Kvanteteorien. Oversat af Chr. Frantzen. 12. Aarg. S. 1.
E. Buch Andersen: Kvanteteorien og nogle af dens Anvendelser. 13. Aarg. S. 103 og 149. Niels Bjerrum: Nyere Undersøgelser over Atomernes Bevægelser med særligt Henblik paa Kvantehypotesen. 14. Aarg. S. 49.
H. M. Hansen: Stark-Effekten. 13. Aarg. S. 70 og 211.

Digitized by Google

skrænker vi os til at bringe Billeder af de to fremragende Fysikere og nogle biografiske Oplysninger.

Max Planck er født i Kiel 23. April 1858; han studerede i München og Berlin, tog Doktorgraden i München 1879 og blev Privatdocent der 1880. I 1885 blev han Professor extr. i Kiel og i 1889 i



JOHANNES STARK.

Berlin; 1902 blev han endelig Professor ord. i teoretisk Fysik i Berlin og Bestyrer af Institutet for teoretisk Fysik. 1907 kaldedes han til Wien som Boltzmanns Efterfølger, men afslog det.

Johannes Stark er født i Schickenhof, Bayern, 15. April 1874; studerede 1894—97 i München, hvor han derefter blev Assistent hos Lommel; 1900 blev han Privatdocent og Assistent i Göttingen. 1907 blev han Professor extr. ved den tekniske Højskole i Hannover og samme Aar ved Universitetet i Greifswald. 1909 blev han Professor ord. ved den tekniske Højskole i Aachen og 1917 ved Universitetet i

Digitized by Google

Greifswald. I Aar er han kaldet til det nyoprettede Universitet i Hamburg; det er saa vidt vides endnu ikke bekendtgjort, om han modtager denne Kaldelse.

Om användning af elektriska strömlinjer i planet för »demonstration« af några egenskaper hos det elektrostatiska fältet.

Af

Kurt Molin.

Problem rörande den elektriska strömmens utbredning i tunna plattor af konstant tjocklek hafva behandlats af flera forskare såväl teoretiskt som experimentellt. En kortfattad framställning af frågan lämnar Chwolson i sin Lehrbuch der Physik; Auerbach behandlar samma dels i Winkelmanns Handbuch der Physik och utförligare i Graetz, Handbuch der Elektrizität und Magnetismus. Mera enbart med tanke på problemets matematiska sida är Webers framställning i Die partiellen Differential-Gleichungen der Mathematischen Physik och Debyes i Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften.

Genom en eller flera punktformiga elektroder tillföres en tunn platta elektricitet. På ett bestämdt sätt utbreder sig denna öfver plattan, och då eletriciteten är osammantryckbar*). så måste samma elektricitetsmängd strömma ut ur plattan genom katoden. Angående denna strömning göres följande antaganden. Kommer en linjär ström till den punktformiga anoden, så förgrenar den sig i ett oändligt antal

*) Dvs. div $j = 0$. Men då $j_n = \lambda\ E_n = -\lambda \frac{\partial V}{\partial n} = -\lambda\ \text{grad}_n\ V$, erhålles divgrad $V = \Delta^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0$, som är differentialekvation för den logaritmiska potentialen; de införda operationerna div och grad äro att uppfatta såsom tvådimensionala och af sammanhanget framgår att j_n betecknar den elektriska strömningen vinkelrät emot ytenheten, λ plattans konstanta ledningsförmåga och E_n den elektriska kraften.

Digitized by Google

likvärda och inom en tillräckligt liten cirkel kring anoden med samma täthet fördelade strömlinjer, om plattans tjocklek och ledningsförmåga betraktas såsom konstanter. Dessa strömlinjer tänkas utan möjlighet till vidare förgrening. I planet betraktas alltså strömlinjerna såsom isolerade linjer mellan hvilka det ej existerar några bryggor. Alla experiment gifva till resultat, att förhållandena i hvarje afseende uppfylla dessa teoriens fordringar.

Strömlinjerna kunna ej direkt observeras, som fallet är med ekvipotentiallinjerna och linjerna för lika strömstyrka. Den termiska metoden af Mach*) för fixering af linjerna för lika strömstyrka samt Kirchhoffs**) metod att af en kompassnåls deviation ur den magnetiska meridianen, då nålen är upphängd mycket nära den horisontella strömgenomflutna plattan, studera strömlinjerna stå långt efter den äfvenledes af Kirchhoff utarbetade ekvipotentiallinjemetoden. Enligt denna placeras spetsen af en af de båda trådar, som leda till mätinstrumentet i en fast, godtycklig punkt på den af likström genomflutna plattan. Bringas den andra spetsen i kontakt med plattan, erhållas på mätinstrumentet ett utslag motsvarande potentialdifferensen mellan de båda punkterna. Genom förskjutning af den sistnämnda spetsen uppsökes en punkt för hvilken intet utslag erhållas; denna ligger då på samma ekvipotentiallinje som den fasta punkten. Med bibehållande af denna kan så många punkter uppsökas, som erfordras för bestämning af ekvipotentiallinjens läge. Flyttas den fasta spetsen till en utanför den funna linjen belägen punkt, så erhållas en ny ekvipotentiallinje på samma sätt, och så godtyckligt många. Sedan ekvipotentiallinjerna äro bestämda uppritas lätt strömlinjerna mellan anoden och katoden, då dessa äro de ortogonala trajektorierna till ekvipotentiallinjerna. Metoden är kvalitativ och potentiallinjerna skilja sig i allmänhet ej från hvarandra med samma potentialdifferens, men af Kirchhoff**) är metoden utvidgad till att gifva kvantitativa resultat med hjälp af galvanometer.

Synnerligen vackra kvalitativa resultat kunna erhållas med hjälp af följande enkla anordning, som brukas på öfningslaboratoriet i Upsala, där professor G. Granqvist för att visa kvalitativt elektricitetens strömning i plattor infört det Kirchhoffska försöket med den modifikationen, att växelström från ett induktorium användes som ström-

*) E. Mach, Rep. d. Phys. 6. 10. 1870.

**) G. Kirchhoff, Pogg. Ann. 64. 497. 1845. — Ges. Abhandl., p. 1.

Digitized by Google

källa och att en telefon ersatt det ofvannämnda mätinstrumentet. Ljudminimum är kriteriet på att den rörliga spetsen befinner sig i en punkt med samma potential som den fasta. Som platta användes

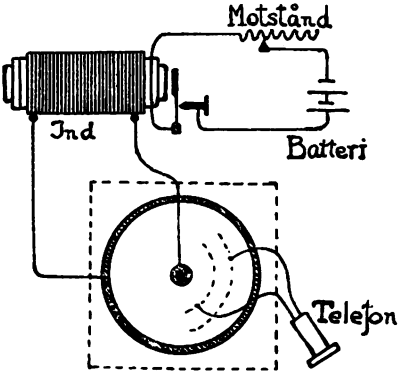


Fig. 1.

med utspädd $CuSO_4$-lösning mycket väl fuktadt filtrerpapper, som placerats på en glasskifva. Läget af de uppsökta punkterna fixeras med hjälp af spetsig anilinpenna. Anordningen framgår af fig. 1.

Bortseende ifrån de många intressanta strömningsproblem, som lätt kunna realiseras och som i vissa fall kunna underkastas en ingående matematisk behandling har jag här på grund af andra motiv försökt betrakta det stationära växelströmsfältet, som existerar mellan elektroderna, som ej blott få vara punktformiga utan äfven linjära och af ändlig utsträckning. Antages elektroderna bestå af godt ledande material, så kommer potentialen på desamma att hafva konstanta värden.

1) Mellan två parallella, tillräckligt långa linjära elektroder existerar, om man bortser ifrån kanterna, ett homogent stationärt växelfält. Det ligger nära till hands att uppställa en analogi mellan detta stationära fält och det normala elektrostatiska jordfältet för ett område i närheten af jordytan, där potentialfallet kan betraktas som konstant. Då alla upphöjningar på jordytan stå i ledande förbindelse med jorden och därför hafva jordens potential, så blir jordytan med dessa upphöjningar en ekvipotentialyta, som får representeras af den utskurna elektrodens kontur i fig. 2. De på hvarandra följande ekvipotentiallinjerna smyga sig efter elektrodens ojämnheter, men afvi-

Digitized by Google

kelserna från det rätlinjiga förloppet aftaga med växande afstånd från den oregelbundna elektroden. Man har härigenom erhållit en bild, som motsvarar förhållandena hos det normala elektrostatiska fältet i närheten af jordytan.

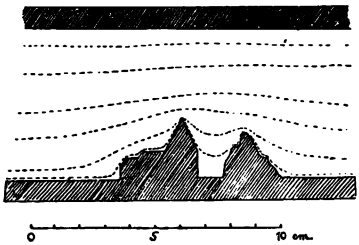


Fig. 2.

2) Uppritas strömlinjerna sedan ekvipotentiallinjerna experimentellt blifvet bestämda, och betraktas strömlinjerna såsom jämförbara med det elektrostatiska fältets kraftlinjer, så gifver vårt stationära växelfält fältbilder, som hafva sin fulla motsvarighet inom elektrostatiken och som lätt kunna varieras på en mångfald olika sätt, hvarpå här nedan skall lämnas några exempel.

a) En bild af förhållandena i ett symmetriplan genom det elektrostatiska kraftfältet kring en laddad isolerad sfärisk konduktor er-

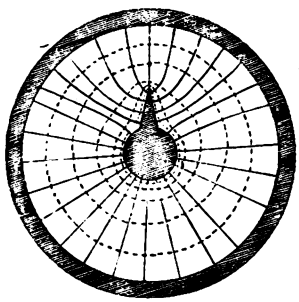


Fig. 3.

hålles, om som elektroder användas en cirkelring med stor radie och en med denna koncentrisk cirkulär platta med liten radie. Ekvipotentiallinjerna blifva med de cirkuläre elektroderna koncentriska cirklar och strömlinjerna gå radiert, likformigt fördelade i området mellan elektroderna.

b) En konsekvens af egenskapen, att elektriciteten endast befin-

Digitized by Google

ner sig på en ledares yta och att yttätheten aftar med aftagande krökning hos ifrågavarande ytelement, är lätt att påvisa. Ju större krökning, ju större yttäthet, och ju större antal kraftlinjer utgå från yt-

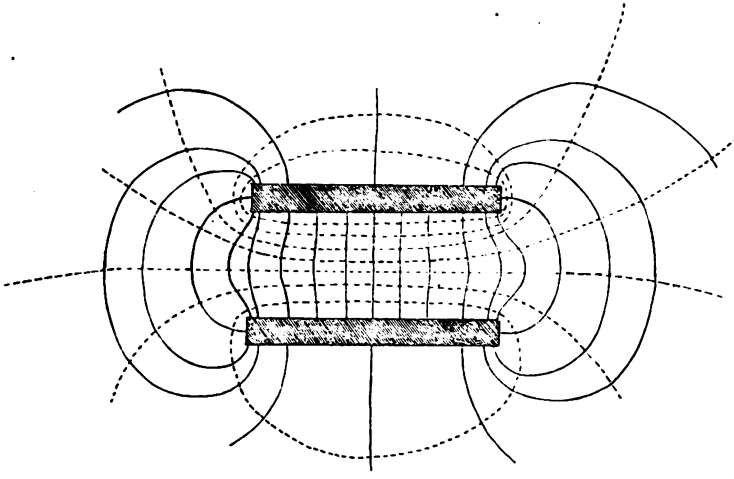


Fig. 4.

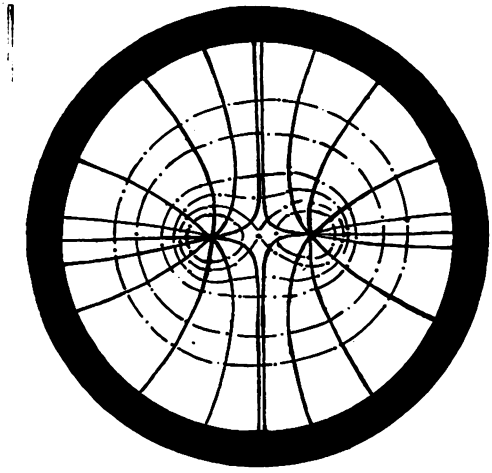


Fig. 5.

elementet vinkelrätt emot detsamma. Förses den inre elektroden med en spets (se fig. 3), så blifva i dess omgifning ekvipotentiallinjerna starkt hopträngda och de uppkonstruerade strömlinjerna gifva en bild af det elektrostatiska fältets spetsverkan.

Digitized by Google

c) Fig. 4 får föreställa ett transversellt symmetriplan genom en cirkulär plattkondensator. Ekvipotentiallinjerna äro parallella med elektroderna i mellanrummet mellan dessa, hvilket representerer det elektrostatiska fältets homogena del hos en kondensator, som tänkts uppladdad till en konstant potentialdifferens. Den erhållna figuren visar hur inhomogent fältet är vid elektrodernas kanter och i det yttre rummet.

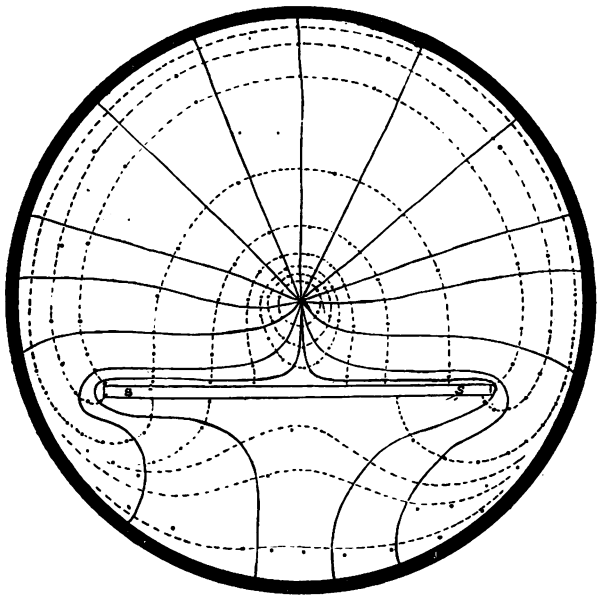


Fig. 6.

d) På samma sätt som kraftlinjer utgående ifrån med samma slags elektricitet laddade konduktorer repellera hvarandra, så repellera de strömlinjer hvarandra som utgå ifrån elektroder, förbundna med samma pol på sekundärspolen. Fig. 5 visar de hyperbelformade strömlinjerna för det fall, att 2 punktformiga elektroder användts mot en cirkulär.

Strömlinjernas ömsesidiga repulsion belyses äfven af den symmetriska anordningen från fig. 6, där en spalt *ss* i den ledande plattan hindrar strömlinjerna att komma fram i radiärt ställda banor. Det uppstår ett jämtviktstillstånd mellan å ena sidan repulsionen och å andra sidan det förhållande, att den elektriska strömningen söker sig

Digitized by Google

fram längs den väg, som erbjuder det minsta motståndet. Den elektriska strömtätheten är i skuggrummet naturligtvis afsevärdt liten, och det är därfor svårt att finna punkterna för ljudminimum. Ekvipotentiallinjerna blifva därför ej bestämda med samma noggrannhet som inom fältets öfriga delar. Dessa förhållanden belysas äfven af fig. 7, där på den »oändligt« utsträckta plattan med spalten *ss* en

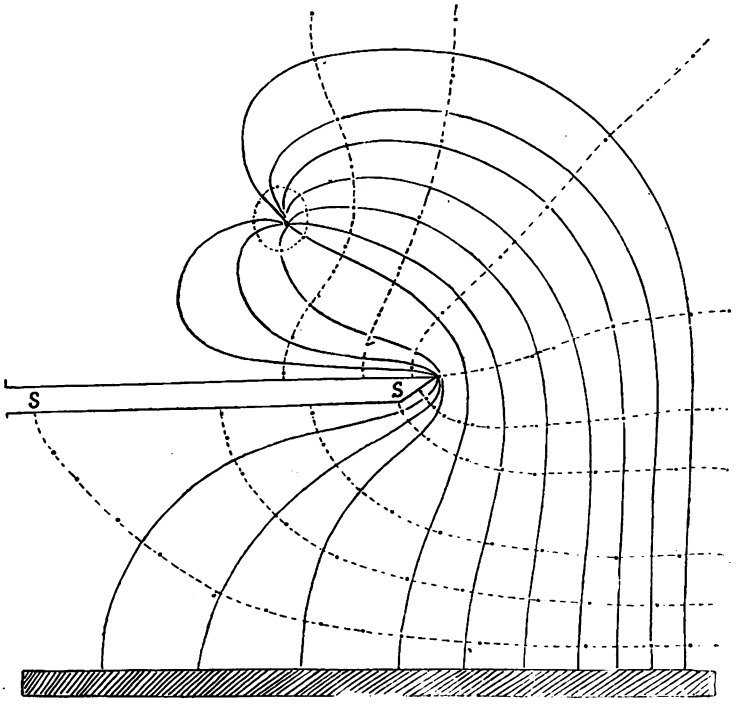


Fig. 7.

punktformig elektrod användts mot en linjär. Strömlinjerna trängas starkt tillsammans vid kanten och böjas därefter kring densamma.

e) Den elektriska skärmverkan demonstreras medelst fig. 8. Skärmen *Sk* är förbunden med samma pol på induktoriet som den yttre ringen. Strömlinjerna gå från den punktformiga elektroden till den närmaste ytan af skärmen och till ringen, som får representera andra omgifvande kroppar i det elektrostatiska fältet, och endast få strömlinjer tränga fram till området bakom skärmen.

Digitized by Google

f) Fältbilder visande influensverkan eller den elektrostatiska induktionen kunna erhållas med hjälp af metallplattor, som placeras på den ledande plattan utan förbindelse med elektroderna. Ström-

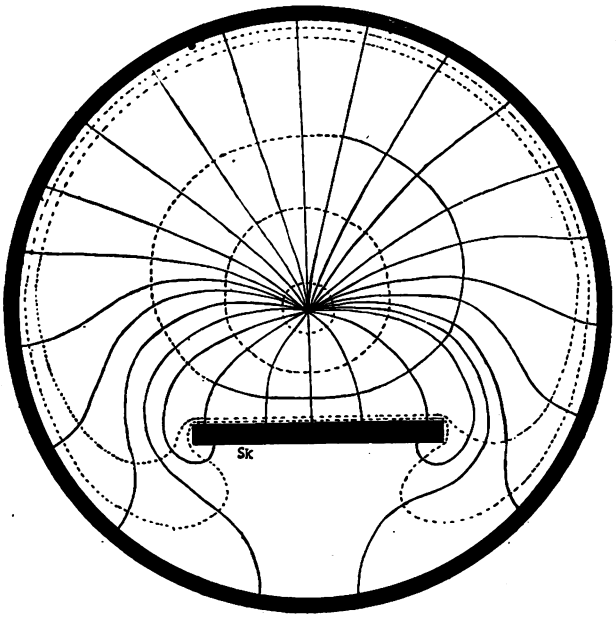


Fig. 8.

linjerna söka sig fram genom dessa metallplattor, som erbjuda ett mindre motstånd än plattan själf, såsom framgår af fig. 9.

g) Ersättes ellipsen i fig. 9 med en cirkelring mellan tvenne linjära elektroder som fig. 10 visar, så existerar intet elektriskt fält innanför ringen, hvilket påvisas därigenom, att området ej ger något ljud i telefonen. Därmed är den fullständiga skyddsverkan i det inre af metalliska kroppar demonstrerad. I fig. 10 är ringen förbunden med den ena elekroden och man observerar skärmverkan i ringens skuggområde.

För att uppnå att de olika ekvipotentiallinjerna skilja sig från hvarandra med samma potentialdifferens, alltså blifva till hvad som egentligen förstås med nivålinjer, så kan försöket uppdelas i två afdelningar; den första går ut på att längs en på den ledande plattan uppritad symmetrilinje mellan elektroderna finna punkter, som ligga

Digitized by Google

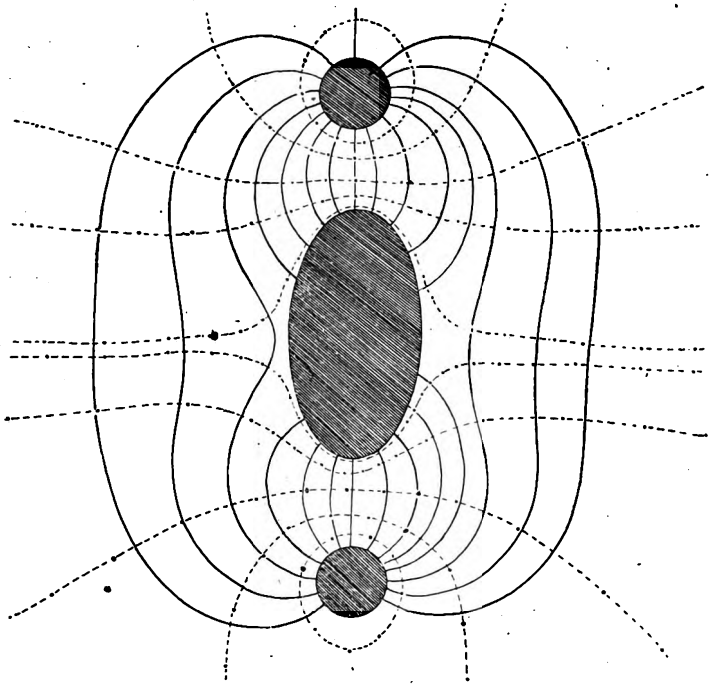


Fig. 9.

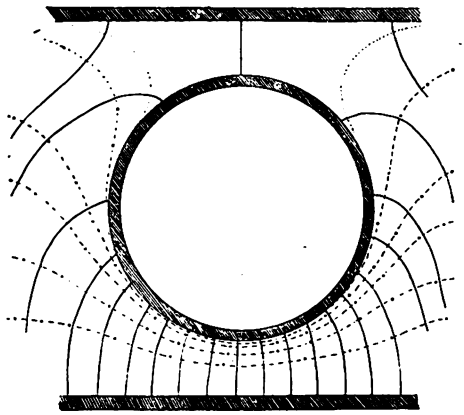


Fig. 10.

på sådana afstånd att potentialfallen emellan dem äro konstanta. Detta uppnås därigenom, att telefonen ersättes med ett tillräckligt

Digitized by Google

känsligt instrument med kvadratisk känslighet och att man för afståndet från en punkt till närmast bredvidliggande på instrumentet erhåller samma utslag. Med dessa punkter i tur och ordning som fasta punkter uppsökes med hjälp af telefon som förut ekvipotentiallinjerna. Denna utvidning är likväl öfverflödig för ifrågavarande enkla uppgift.

De ofvan beskrifna experimenten hafva af förf. införts vid norska lärarkursen i experimentell fysik å Fysiska Institutet i Trondhjem aug. 1919 med afsikt att låta dessa försök »demonstrera« förhållandena inom det elektrostatiska fältet, och synes det mig, att den enkla anordningen med sin stora inställningsskärpa inom växelfältets största område väl ägnar sig till skolförsök, och att sådana fösök borde lämna till resultat en konkret bild af åtminstone vissa egenskaper hos det elektrostatiska fältet.

Trondhjem, Tekniska Högskolans Fysiska Institut.
Aug. 1919.

Om Frembringelsen og Maalingen af smaa Lufttryk*).

Af
Viggo Andersen.

De senere Aars stærke Udvikling af Molekularfysikken og Elektronteorien har gjort Frembringelsen og Maalingen af Højvakuum meget aktuel og har affødt talrige og sindrige Konstruktioner saavel af Pumper som Manometre.

Selv om den rent tekniske Side af Sagen ved videnskabelige Undersøgelser vel i Almindelighed har mindre almen Interesse vil jeg dog vove i Aften at fortælle Dem om disse Ting, idet jeg haaber ikke at trætte Dem for meget.

Ved den følgende Omtale af P u m p e r, skal jeg kun ganske kort

*) Foredrag holdt i Selskabet for Naturlærens Udbredelse, Onsdag den 22. Oktober 1919.

Digitized by Google

opholde mig ved de ældre Pumpeformer, da disse vel tør anses for at være almindelig kendte, hvorimod de moderne Højvakuumpumper skal ofres en mere indgaaende Omtale. Alle ældre Pumper har til fælles Princip det, at adskille en Del af Luften i det Rum, der skal udpumpes, fra den øvrige Del af Luften i dette ved mekaniske Midler og dernæst føre denne Del ud til et andet Rum, hvor der findes et højere Tryk, det saakaldte Forvakuum, hvor der specielt kan være Atmosfæretryk. Ved saaledes at føre Luften bort portionsvis kommer man da efterhaanden ned paa lave Tryk. Det er en Selvfølge at for at opnaa et lavt Tryk, maa Afspærringen mellem det høje og det lave Tryk være overordentlig tæt. Denne Afspærring iværksættes paa to forskellige Maader, enten som i Guerickes Luftpumpe ved tætsluttende Stempler og Ventiler eller ved Kvægsølv. Men Guerickes Pumpe kan ikke opnaas særlig lave Tryk, dels paa Grund af at Stemplet ikke slutter absolut tæt og dels paa Grund af, at der bliver en lille Luftrest tilbage mellem Stemplet og Støvlebunden i det saakaldte skadelige Rum.

Allerede Guericke søgte at gøre Afspærringen bedre ved at hælde Stempel og Rørforbindelser over med Vand, hvorved dog det lavest opnaaelige Tryk kun kunde blive mættet Vanddamps Tryk ved Stuetemperaturen.

En væsentlig Forbedring betød det, da man gik over til Olietætning, da Olie har et nogle Tusind Gange mindre Damptryk end Vand. [Herefter fulgte en kort Gennemgang af ældre Pumpetyper]*).

Vi vil nu gaa over til at behandle den første virkelige Højvakuumpumpe, der er konstrueret af Gaede i 1913, den saakaldte Molekularpumpe, der foruden andre Fortrin udmærker sig ved, at der ikke

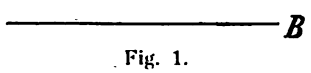


Fig. 1.

findes nogen Afspærring af mekanisk Art mellem Forvakuum og Højvakuum. Inden jeg gaar nærmere ind paa Beskrivelsen af Pumpen, skal jeg opholde mig lidt ved Teorien for Gnidningsfænomenerne i en Luftart, hvoraf Gaede har draget praktisk Nytte ved sin Pumpe. Lad *A* og *B* (Fig. 1) være 2 Plader med Luft imellem. Luften bestaar,

*) Se nærmere herom i Fysisk Tidsskrift Aarg. 11 p. 195, A. W. Marke: Om nogle nyere Typer af Luftpumper.

Digitized by Google

som bekendt, af Molekuler, der farer af Sted i en fuldstændig Uorden mellem hinanden med en Hastighed bestemt alene af vedkommende Luftarts Natur og dens Temperatur. De bevæger sig af Sted i rette Linier og forandrer kun Retning ved Sammenstød med de begrænsende Vægge eller med hinanden indbyrdes. Rammer et Molekul Væggen vil det kastes tilbage i en Retning uafhængig af Indfaldsretningen. Den Vej et Molekul gennemsnitlig løber mellem 2 paa hinanden følgende Sammenstød med andre Molekuler kaldes Middelvejlængden. Denne er ved $^1/_{1000}$ mm Kvægsølvtryk c. 10 cm.

Lad os nu tænke os *A* og *B* staar stille og lad os tillige tænke os, at Afstanden mellem Pladerne er mindre end Middelvejlængden, d. v. s. Lufttrykket er saa lille, og Pladernes Afstand er saa lille, at et Molekul, der forlader *A*, ikke oplever noget før det naar til *B*.

Betragter vi et lille Fladeelement paa en af Pladerne, vil der fare Molekuler fra det ud i alle Retninger. Molekulerne har vel forskellig Hastighed; men disse Hastigheder er fordelt ligeligt i alle Retninger. Giver vi nu Pladen *A* en Hastighed tilhøjre. vil alle Molekuler, der udgaar fra Pladen faa forandret deres Hastigheder, idet de jo hver for sig vil faa en Hastighed sammensat af den oprindelige og af den Hastighed, Pladen har faaet. Gives Pladen en Hastighed større end Molekulhastigheden, vil overhovedet alle Molekuler bevæge sig til højre, efter at de har forladt Pladen, og i alle Tilfælde vil en Bevægelse af Pladen tilhøjre give en Formindskelse af Antallet af Molekuler til venstre og en Forøgelse til højre; d. v. s. der vil skabes en Trykdifferens. Ved lave Tryk vil Forholdet mellem Tryk-

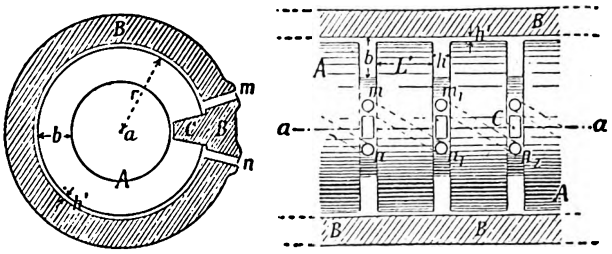


Fig. 2.

ket til venstre og Trykket til højre være uafhængig af Fortyndingsgraden, men selvfølgelig afhængig af den Hastighed hvormed *A* bevæges.

Indretningen af Molekularpumpen er nu denne (Fig. 2).

Digitized by Google

I Huset *B* roterer Cylinderen *A* om Aksen *a*. I *A* er indfræset en Rille. I denne rager en Lamel *C* ind.

Drejes der nu rundt i Retning med Uret, bliver Luften fortættet ved *m* og fortyndet ved *n*.

Det Vakuum, der kan opnaas, afhænger, som før omtalt, af Omdrejningstallet og Forvakuets Størrelse, da Forholdet mellem Trykkene ved *m* og *n* er konstant, og Trykket ved *m* jo er Forvakuumtrykket.

Med et Forvakuum paa 0,05 mm og 1200 Omdrejninger pr. sec. har man opnaaet Tryk af Størrelsen 0,0000002 mm Kvægsølvtryk. Paa Billedet ses flere Systemer byggede sammen for at forhøje Virkningen. Aksen tættes med Olie; for at forhindre at denne kommer ind i Pumpehuset, er der i Aksen indfræset en skrueformet Rille; naar Pumpen gaar, vil Centrifugalkraften slynge Olien ud efter og forhindre, at Overtrykket fra Atmosfæren presser den ind i Huset. Navnet Molekularpumpen har Gaede givet Pumpen af den Grund, at dens luftfortyndende Egenskaber alene skyldes den Indflydelse, det rotcrende Anker har paa Molekulernes Bevægelse.

Gaede har imidlertid senere konstrueret en ny Pumpe efter et ganske andet Princip, der har vist sig meget frugtbart og allerede har affødt en Mængde forskellige Konstruktioner i det sidste Par Aar. Princippet demonstreres i Fig. 3. Gennem Røret *AB* blæses en Damp-

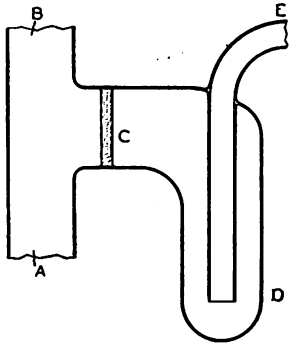


Fig. 3.

straale, *C* er en porøs Skillevæg. *E* fører til en Kolbe *V*. Røret *D* anbringes i et Bad af lav Temperatur f. Eks. flydende Luft. Blæses Dampstraalen nu igennem *AB*, bliver *V* tom. Vi har altsaa her en Pumpe.

Digitized by Google

Forklaringen er denne. Inden for Skillevæggen farer Luftmolekulerne rundt og støder af og til paa denne, men den er jo porøs, og nogle af Molekulerne naar da at komme ud igennem Porerne og ud i den luftfrie Dampstrøm, der river dem bort med sig. Dampmolekulerne opfører sig paa deres Side ligedan, men den Damp, der kommer inden for Skillevæggen, fortættes, saa Damptrykket bliver mættet Damps Tryk ved Badets Temperatur. Bruges Vanddamp og fortættes med flydende Luft, kan der frembringes et saa højt Vakuum, som der fordres til et Røntgenrør. Der er imidlertid det at indvende mod denne Anordning, at den pumper meget langsomt, naar den skal pumpe lige paa Atmosfæretryk.

Vi vil et Øjeblik se paa, hvilke Ting, der er bestemmende for Pumpehastigheden. Det kunde synes rimeligt at vælge store Aabninger i Skillevæggen mellem Dampstraale og Luft: men dette vil kun være tilraadeligt inden for visse Grænser. For at Dampstraalen skal gaa fra *A* til *B*, fordres et Damptryk, der er lidt større end det Tryk,

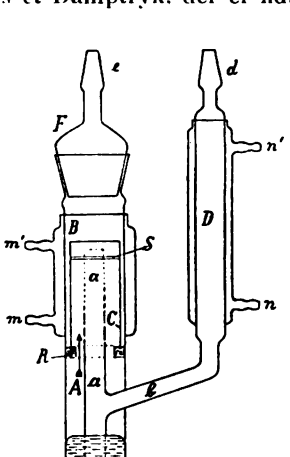


Fig. 4.

Diffusionsvirkningen skal pumpe imod. Vil man nu pumpe op mod et stort Tryk, bliver Middelvejlængden for Dampmolekulerne lille, og under saadanne Forhold vil Dampen, hvis Aabningen er stor i Forhold til Middelvejlængden, gaa ind gennem Aabningerne i en kompakt Straale og ganske forhindre Luftmolekulerne i at komme ud i Damp-

Digitized by Google

straalen. En Beregning af disse Forhold viser, at de gunstigste Pumpebetingelser opnaas, naar Aabningernes Dimensioner netop er af samme Størrelse som Middelvejlængden. Vil vi bruge store Aabninger, maa vi altsaa have et lavt Damptryk, d. v. s. vi maa lade Dampen fordampe under lavt Tryk, vi maa benytte et Forvakuum.

Diffusionspumpen i Gaedes Udførelse har følgende Form (Fig. 4): I Diffusionspumpens Fordampningsrum *A* fordamper Kvægsølvet *Q*, Kvægsølvdampen strømmer i Pilens Retning gennem Rørene *a* og *b*, hvor den køles af Kølevandet, der gaar gennem Svalerøret om *D*. Røret *D* fører til Forpumpen. Det fortættede Kvægsølv løber da tilbage.

Rummet *A* er overdækket med en Staalcylinder, der staar i en Rende fyldt med Kvægsølv. Kvægsølvmolekuler fra Dampstraalen diffunderer nu ud i Rummet *B* gennem Spalten *S* og fortættes af Svalevand der gaar gennem Kølekappen om *B*. Luften fra *B* diffunderer ind i Kvægsølvdampen og udpumper saaledes Recipienten gennem *F*. Med Diffusionspumpen faas med et Forvakuum paa 0,1 mm Vakua paa under $^1/_{100000}$ mm Kvægsølvtryk.

Pumpehastigheden er kun omkring 90 cm^3/sec, og det har ikke vist sig mulig ved Pumpekonstruktioner efter Gaedes Princip at faa den højere op.

L a n g m u i r har imidlertid efter Gaede forstaaet at udnytte Diffusionsprincippet paa en saadan Maade, at der opnaas en overfor Gaedes Pumpehastighed imponerende Værdi, nemlig 4000 cm^3/sec.

Kvægsølvet opvarmes i Beholderen *A* (Fig. 5) og strømmer gennem Røret *HB* ud af Aabningen *P*. Her holdes et lavt Tryk med en Forpumpe, der sættes til ved *N*. *G* er en saakaldt Kvægsølvfælde, hvortil vi senere vil vende tilbage. Molekulerne, der kommer ud af *P*, vil nu ikke gaa ud som en Straale, da der er lavt Tryk uden for, men vil straale ud i alle Retninger fra Aabningen, ligesom Lyset fra en lysende Plade, hvis vi tænker os den anbragt i Stedet for Aabningen *P*.

Omkring Mundingen er anbragt en Køleanordning, og det fortættede Kvægsølv løber tilbage i Beholderen. Men netop det at anbringe Køleindretningen lige om Mundingen er det principielle i denne Konstruktion.

Jeg sagde før, at Molekulerne straalede ud fra *P* som Lyset fra en glødende Plade, nogle af dem vil da træffe Rørvæggen og fortættes; men ingen vil træffe Væggen paa Steder, der ligger højere end Aab-

Digitized by Google

ningen. Der vil saaledes slet ingen Molekuler findes, der er rettede op efter. Luftmolekulerne, der diffunderer ind i Dampen, bliver saaledes, idet de kommer ned i Mellemrummet mellem Rørene, ikke stødt tilbage, men kan uhindret komme ind i Dampen og blive revet med til Forvakuet. Hvis Køleindretningen ikke anbragtes, vilde Rørvæggen hurtig opvarmes, og Kvægsølvmolekulerne kastes tilbage; der vilde da komme Molekuler med Retning op efter og forhindre Luftmolekulerne i at komme ind.

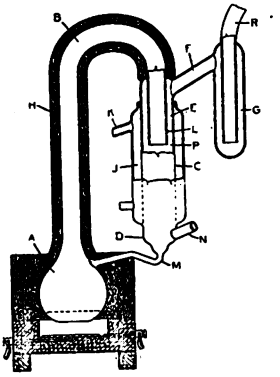


Fig. 5.

Det blev før nævnt, at *G* var en Kvægsølvfælde; en saadan maa anbringes paa alle Pumper, der indeholder Kvægsølv, hvis man vil holde Kvægsølvdampene ude af sine Apparater; dette sker ved at anbringe flydende Luft om Røret *G*.

Ved lave Tryk vil Trykket i Apparatet da omtrent blive lig det Partialtryk, en eventuel Luftrest udøver i Pumpen; Forholdet er altsaa ikke saaledes, som man skulde vente, og som ogsaa er rigtigt ved høje Tryk, at det samlede Tryk af de respektive Luftarter paa højre og venstre Side af Fælden er lige store.

Selv om vi med Molekularpumpen kan komme ned paa Trykket 10^{-7}mm Hg, maa man dog ikke tro, at der ikke er flere Molekuler tilbage i hver cm^3, end at de hurtigt kan tælles. I 1 cm^3 findes ved Atmosfæretryk $3 \cdot 10^{19}$ Molekuler. Ved Trykket 10^{-7} mm vil der da endnu være $4 \cdot 10^9$ tilbage i hver cm^3.

Digitized by Google

Om Manometre. Ved Omtalen af Pumperne har jeg nævnt det laveste Tryk, man har opnaaet, uden at komme ind paa, hvordan dette Tryk maales. Maalingen af Tryk paa flere Millimeter Kvægsølvtryk er saa bekendt, at jeg ikke skal komme ind paa det, hvorimod Maalingen af saadanne lave Tryk, som kan opnaas med de nylig omtalte Højvakuumpumper, kan fortjene en nærmere Omtale.

Ved Kvægsølvmanometret foretages Trykmaalinger som bekendt ved Udmaaling af Afstanden mellem 2 Kvægsølvoverflader. Ved direkte Aflæsning kan man ikke godt maale Tryk paa under $^1/_{10}$ mm Kvægsølvtryk; naar Trykket bliver mindre, behøver man dog ikke straks at opgive Kvægsølvmanometret, men kan ved forskellige Kunstgreb maale Tryk endnu længere ned.

Af saadanne Metoder gives adskillige, jeg skal som Eksempel nævne den allernyeste.

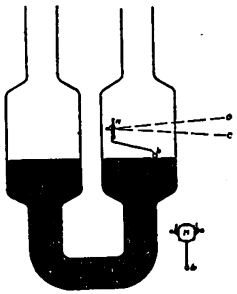


Fig. 6.

Igennem Glasset (Fig. 6) sidder en lille Akse, hvorom en Vægtstang kan dreje sig. Vægtstangens ene Ende er i Forbindelse med en Flyder, der svømmer paa Kvægsølvet; paa den anden Ende sidder et lille Hulspejl, hvori en Traad i en almindelig Glødelampe spejler sig, saa at der dannes et Billede af Traaden paa en Maalestok. Forandrer nu Kvægsølvoverfladen sin Højde, drejes Spejlet lidt, og en lille Vinkelbevægelse af Spejlet kendetegnes ved en meget større Bevægelse af Billedet paa Maalestokken. Dette Manometer kan maale ned til $^1/_{100}$ mm Hg.

Det indtil for faa Aar siden hyppigst brugte Manometer for smaa Tryk, er det saakaldte Mac Leods Kompressionsmanometer. Princippet i dette er følgende. Da det lille Lufttryk er svært at maale, sammenpresser man et bekendt Volumen, afmaalt ved det lille Tryk,

Digitized by Google

til et andet og meget mindre Volumen. Derved stiger Trykket, saa det kan gøres tilgængelig for Maaling; maales endvidere det nye hertil hørende Volumen, er det let ved Mariottes Lov at beregne det søgte Tryk.

Selvfølgelig faar man med dette Manometer kun maalt Trykket af de Luftarter, der følger Mariottes Lov. Er der f. Eks. Fedtdampe i Rummet, hidrørende fra det Fedt, Hanerne er smurt med, vil Trykket af disse Dampe kun vokse proportionalt med Rumfangsformindskelsen, til de har opnaaet deres Maksimaltryk ved den forhaandenværende Temperatur; da dette Tryk er meget ringe i Forhold til den Højdedifferens, der aflæses, vil det ikke influere kendeligt paa Maalingen. Hvad der derimod kan influere, er eventuel Afgivelse af Vanddamp fra Glasset og Variation i Overfladespændingen af Kvægsølvet i Kapillarrøret, saa dette Manometer tildels er bragt i Miskredit som Præcisionsmaaleapparat.

Vi vil da se, om det ikke kan lade sig gøre paa indirekte Maade at maale en eller anden fysisk Størrelse, der afhænger af Trykket paa en bekendt Maade; af saadanne skal jeg her nævne:

1) Varmeledningen,
2) Gnidningen,
3) Radiometerkræfter.

Det Manometer, der grunder sig paa det første Princip. er det saakaldte Varmetraadsmanometer, der første Gang er bragt i Anvendelse af Perani 1906. Dets Teori og Uddannelse til Præcisionsinstrument skyldes Professor Knudsen. Vi vil nu først se lidt paa Varmeledningsfænomenet i fortyndede Luftarter. Lad os igen, som før ved Behandlingen af Teorien for Molekularpumpen, tænke os to Plader *A* og *B* (Fig. 1) i et luftfortyndet Rum og med en Afstand mindre end Middelvejlængden. Lad dem have forskellig Temperatur, T_1 og T_2, $T_1 > T_2$.

Den eneste Maade, paa hvilken der kan komme Varme fra *A* til *B*, er ved, at Molekulerne, der kommer fra *B* og rammer *A*, faar større Hastighed efter at have været i Berøring med den varme Plade, d. v. s. en større Energi, som de har taget fra *A*; de farer nu hen og rammer den kolde Plade og udveksler Energi med den, saa den faar tilført Varme, og Molekulerne selv mister Hastighed, hvorefter de gaar over til *A* for at hente en ny Portion. Det er nu klart, at den Varmemængde, en bestemt Slags Molekuler kan overføre fra en cm² af *A* i et Sekund. maa være proportional med $T_1 - T_2$ og med det Antal

Digitized by Google

Molekuler, der rammer Fladeenheden pr. Sekund, men dette Antal er proportionalt med Tætheden af Molekulerne og derigennem med Lufttrykket, d. v. s., at den afgivne Varmemængde for en bestemt Luftart og for en bestemt Temperaturdifferens er proportional med Trykket ved disse simple Forhold ved lave Tryk. Ved højere Tryk bliver Varmeledningen, som bekendt, uafhængig af Trykket, men det interesserer os ikke i denne Forbindelse.

Kaldes Varmeafgivelsen pr. cm^2 Q, kan vi altsaa skrive $Q = C\,(T_1 - T_2)\,p$, hvor p er Trykket. C er en Konstant, afhængig ikke alene af Luftarten, men ogsaa af de benyttede Plader og er ikke særlig godt kendt, saa en Maaling af Q kan ikke med tilstrækkelig Nøjagtighed give os p.

Men kan vi blot frembringe en Række bekendte lave Tryk og finde de tilsvarende Q, kan vi tegne os en Kurve, der giver Sammenhængen mellem Q og p, og som kan benyttes ved senere Trykmaalinger.

Vi skal nu se, hvorledes dette udføres i Praksis.

I et Rør er udspændt en meget tynd Platintraad, der er forbundet med Platintraade, indblæst i Glasvæggen i Rørets Ender; denne Traad holdes paa en bestemt Temperatur, ved at der sendes en elektrisk Strøm igennem den: hvorledes vi sikrer os, at Temperaturen er konstant, og ser, hvilken Størrelse den har, skal vi straks se. Røret holdes paa en anden, lavere, konstant Temperatur, f. Eks. ved at sætte det i Is.

Varmeafgivelsen fra Traaden vil under disse Omstændigheder være proportional med Lufttrykket, saa længe Middelvejlængden er større end Traadens Tykkelse.

Traaden anbringes som den ene Gren i en Wheatstones Bro; forud er Traadens Temperaturkoefficient for Modstand maalt, og det beregnes, hvilken Modstand Traaden skal have ved en passende høj Temperatur. De bekendte Modstande i Broen vælges, saa der vil være Ligevægt i denne, naar denne Modstand, d. v. s. den ønskede Temperatur, er naaet. Traaden opvarmes ved selve den Strøm, der sendes gennem Broen, og ved en Reguleringsmodstand indskudt i Række med Batteriet i Hovedkredsløbet indstilles Broen paa Ligevægt, d. v. s. Traaden paa den ønskede Temperatur. Forandres nu Lufttrykket, forandres Varmeafgivelsen fra Traaden, og vi maa forandre Strømstyrken for atter at faa Ligevægt i Broen.

Digitized by Google

Vi frembringer nu en Række bekendte Tryk i Apparatet, disse maales f. Eks. paa et andet Maaleapparat, eller ogsaa frembringes de ved at sætte det fuldstændig udpumpede Apparat, hvis Rumfang maa kendes, i Forbindelse med et mange Gange mindre, bekendt Rumfang, hvori findes en Luftmængde, hvis Tryk er maalt med Kvægsølvmanometer. Det opnaaede Tryk kan da beregnes efter Mariottes Lov.

For hvert Tryk maales den for Ligevægt nødvendige Tilførsel af elektrisk Energi til Traaden. Dette gøres f. Eks. ved at maale Spændingsforskellen mellem Enderne af Manometertraaden for hver ny Indstilling. Vi forskaffer os saaledes let en Justeringstabel for Manometret.

Da Varmeledningen er afhængig af Luftartens Natur, maa vi selvfølgelig justere for hver ny Luftart, vi tager ind.

Det andet Princip, der bygges Manometre efter, er, som før sagt, baseret paa vort Kendskab til Gnidningsfænomenerne i stærkt fortyndet Luft, de samme Fænomener, vi betragtede ved Omtalen af Molekularpumpen. Vi vil se lidt paa dem igen.

Vi saa før, at alle Molekuler, der forlod *A* (Fig. 1), der bevæges tilhøjre med en vis Hastighed, foruden deres molekulare Hastighed fik en Hastighed i Pladens Bevægelsesretning. Den Bevægelsesmængde, de har faaet, afleverer de til *B* ved Sammenstød med denne. Den Mængde Bevægelsesmængde, der føres fra hver cm^2 pr. sec., vil for en bestemt Luftart ved konstant Temperatur afhænge af det Antal Molekuler, der rammer denne cm^2 i Sekundet, d. v. s., den vil være proportional med Trykket. Altsaa en Betragtning ganske analog med den, der anvendes ved Varmeledning, hvis der overføres Varmeenergi fra den ene Plade til den anden. *B* vil saaledes blive paavirket af en Kraft til højre proportional med Lufttrykket.

Apparatet, bygget ud fra disse Betragtninger, har Udseende som vist paa Fig. 7.

I Glasbeholderen *B* sidder en tynd Aluminiumskive, gjort fast paa en Akse, der gaar i Lejer, som ses paa Tegningen. Paa Aksen sidder Magnetnaalen *NS*, over *A* er ophængt en tynd Glimmerskive i en Kvartstraad. *M* er et lille Spejl, befæstet til Skiven. *A* kan bringes i Rotation ved et roterende magnetisk Felt, anbragt uden for Glasbeholderen.

Digitized by Google

En simpel Beregning ud fra de Betragtninger, vi lige har gennemgaaet, vil nu vise, at den Drejningskraft, der kommer til at virke paa *C* ved Rotation af *A*, bliver proportional med Trykket i Beholderen og med Omdrejningstallet. Drejningen af Spejlet aflæses paa den før omtalte Metode.

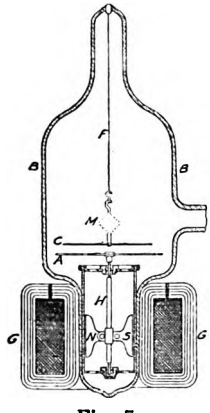


Fig. 7.

Ved et Omdrejningstal paa 1000 pr. Minut er der med dette Apparat maalt Tryk ned til 10^{-7} mm Hg.

Den tredie Metode vi skulde omtale, til Trykbestemmelse grunder sig paa Anvendelsen af de saakaldte Radiometerkræfter, d. v. s. de Kræfter, der virker mellem to Plader af forskellig Temperatur, der i luftfortyndet Rum anbringes overfor hinanden i en Afstand mindre end Middelvejlængden. Paa dette Princip grunder sig Konstruktionen af det »absolutte Manometer«, hvis Teori og Konstruktion skyldes Professor Knudsen.

Vi vil se lidt nærmere paa Aarsagerne til disse Radiometerkræfter.

A og *B* (Fig. 1) er de to Plader med Temperaturen $T + t$ og T, den omgivende Luft har Temperaturen T, mellem Pladerne kan vi sætte Temperaturen til $T + {}^1/_2 t$.

Der vil nu stadig gaa Molekuler fra Mellemrummet mellem Pladerne ud i den omgivende Luft og fra denne ind mellem Pladerne. Naar der er indtraadt Ligevægt efter Pladernes Anbringelse, maa der gaa lige saa mange Molekuler den ene Vej som den anden; men

Digitized by Google

nu er Betingelsen for dette ikke som ved høje Tryk, at Trykket mellem Pladerne p_1 skal være lig Trykket uden for p_2, men at

$$\frac{p_1}{p_2} = \sqrt{\frac{T + \frac{1}{2}t}{T}}$$

Staar A fast og kan B bevæge sig, vil den blive frastødt fra A med en Kraft $p_1 - p_2$ pr. cm^2.

Vi har nu

$$K = p_1 - p_2 = p_2\left(\frac{p_1}{p_2} - 1\right) = p\left(\sqrt{\frac{T + \frac{1}{2}t}{T}} - 1\right)$$

Kender vi T og t og maaler K kan p findes.

En af de Former, hvori Apparatet bruges, er følgende:

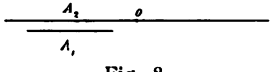


Fig. 8.

A_2 (Fig. 8, der viser Apparatet i vandret Projektion) er en Platinplade, ophængt i en fin Traad O. Paa Forhaand kan det bestemmes, hvor stor en Kraft, der skal til for at dreje den en vis Vinkel, naar Kraften virker i bekendt Afstand fra Omdrejningsaksen. A_1 er et Platinbaand, der kan gives en bekendt Temperatur ved at lade en elektrisk Strøm gaa igennem det. Temperaturen maales ved en Modstandsmaaling som ved Varmetraadsmanometret. Vi maaler nu Temperaturen af A_1, A_2 har Omgivelsernes Temperatur, der ogsaa maales. og endvidere maales Drejningen af A_2 ved Spejlaflæsning; derved har vi, som oven for sagt, K. Og nu findes Trykket efter Formlen oven for.

Dette Manometer har den store Fordel, at det direkte maaler det samlede Tryk uafhængig af, hvilke Molekuler, der støder mod det.

Mac Leods Manometer maalte kun de permanente Luftarter. Varmetraadsmanometret skulde justeres: men for at gøre dette, maa vi først frembringe Trykket 0 og Justeringen gælder kun for en bestemt Luftart. Urenheder af andre Luftarter maales saaledes ikke ved den Værdi, de skulde. Men her ved det absolutte Manometer maales Trykket direkte, og Trykmaalingen er uafhængig af Muligheden for Tilvejebringelse af et Tryk, der praktisk talt er 0.

Digitized by Google

Vi har nu set, hvilke Midler vi har til Frembringelse og Maaling af smaa Tryk, og efter dette kunde det synes let at frembringe et vilkaarligt lavt Tryk; det har imidlertid sine store Vanskeligheder, ikke saa meget paa Grund af Ufuldkommenheder ved Pumper og Manometre som i den Omstændighed, at Glasset, der jo er det eneste Materiale, der kan anvendes og forarbejdes til Apparater, stadig enten absorberer eller afgiver lidt Luft; men disse Vanskeligheder skal jeg ikke komme nærmere ind paa.

Fysik i Skolen.

Fysik i Folkeskolen,

Af Niels Jul.

Mens Fysikundervisningen i den højere Skole efterhaanden har faaet en god Plads og en udmærket god Form, er Fysikundervisningen i Folkeskolen nærmest i Tilbagegang. Naar man ser, med hvilken Interesse og Dygtighed og under hvilke gode Forhold Naturstudiet ellers drives i vore Dage, og hvor stor Betydning det har, er det mærkeligt at se den Ligegyldighed, hvormed det behandles i den danske Folkeskole af Myndighederne og med enkelte Undtagelser ogsaa af Lærerne. Ørsteds mægtige Indflydelse for Naturlærens Fremme er desværre ikke naaet ud til den offentlige Folkeskole.

Daarligst staar det til paa Landet. Af de 3225 Skoledistrikter opgav (Aar 1911) kun 1752 at have Undervisning i Naturfag, og da »Naturfag« betyder baade Naturhistorie og Fysik, og det første er det almindeligste, er der næppe en Fjerdedel af Landsbyskolerne, hvori der overhovedet undervises i Fysik.

I Byerne er der vel omtrent overalt nogen Undervisning i Fysik, men baade Samlingerne og Undervisningen bærer flere Steder Præg af, at Lærerne ikke magter Opgaven. I en saa betydelig Kommune som Aarhus er det under Overvejelse ved en forestaaende Revision af Undervisningsplanen, at indskrænke (til 1 Time ugl.) det meget beskedne Antal Timer (2), der hidtil har været tildelt Faget.

Digitized by Google

Det er vel forstaaeligt, fordi Fysikundervisning i den ældre Form enten krævede en kostbar Samling, eller var mundtlig, og saa ikke egnede sig for Børn; men efterhaanden har jo Fysik faaet en saadan Form, og dertil har »Fysisk Tidsskrift« bidraget meget, at den grundlægges paa simple Skoleforsøg, der kan udføres, selv om man kun har en ganske billig fysisk Samling, og der er derved tillige vundet det, at Fysik er blevet et langt bedre Middel i Børneopdragelsens Tjeneste. Hvor det drives af dygtige Lærere, er Børnene meget glade for det, og det fortjener i det hele at faa en god Plads i Børneskolen. I det ministerielle Cirkulære af 6. April 1906 fremhæves det med Rette: at »Naturfagene har stor Betydning for Barnets Udvikling, at de uddanner Iagttagelsesevnen, skærper Dømmekraften og indpoder en bevidst Forstaaelse af Sammenhæng mellem Aarsag og Virkning, at de tilfredsstiller dets Trang til at se ret paa og høre noget om den brogede Natur, hvori det lever, og at de beriger Barnet med Kundskaber, der ikke mindst i vore Dage er værdifulde«. Allerede Ørsted fremhævede, at Fysik er et værdifuldt Dannelsesmiddel. Og vi bør og maa have det indført ved Børneundervisningen.

Efter mine Erfaringer at dømme er der ogsaa mangfoldige Lærere paa Landet, der meget gerne vilde tage Fysikundervisningen op, men Forudsætningerne: Samlinger og Lærernes Dygtighed til at bruge dem, mangler. Ministerielle Cirkulærer alene er ikke tilstrækkeligt. Og af det yderst beskedne Beløb, der aarlig bevilges til fysiske Læremidler, kan kun faa Skoler forsynes, og saa nøjes man med at dele Pengene ud, uden at drage Omsorg for, at de kommer til Nytte og god Anvendelse.

Kommer man rundt til Skolerne og ser de faa Fysiksamlinger, der findes, møder der som Regel én et trist Syn af en ruineret og spoleret Samling. Det ene Aar gik der noget i Stykker, det næste Aar mere, og inden længe var det hele ubrugeligt, fordi nogle af de nødvendigste Genstande manglede. En Skolesamling til ca. 200 Kr., hvad der er det nødvendige og nogenlunde tilstrækkelige, kan holdes vedlige for ca. 50 Kr. hvert 3—4 Aar, men uden Midler til dens Vedligeholdelse er den værdiløs inden ret længe. Det er trist at se, at de Penge, som anvendes paa at skaffe Skolerne Fysiksamlinger anvendes saa daarligt.

Folkeskolens andre Fag (Sang, Tegning og Gymnastik), som har særlige metodiske Vanskeligheder at kæmpe med, har Inspektører,

Digitized by Google

der paa mange Maader gennem Kursus og Instruktioner under Besøg i Skolerne hjælper Lærerne i Gang og hjælper til med Raad og Vejledning. Ved Magtbud kan det ikke nytte at ville indføre Fysik i Folkeskolen. Skal det vinde frem, maa det ske ved, at Lærerne bringes til Forstaaelse af, at man ønsker det indført, hjælper dem til at overvinde de Vanskeligheder, som de har at kæmpe med, og bringe dem til at forstaa, at baade Børnene og Lærerne vilde have megen Glæde og stort Udbytte af det. Dertil kunde forstaaende Inspektører gøre meget.

Det er dog ikke nok, at der skaffes gode Samlinger til Skolerne. Lærerne maa kunne bruge dem. Det skulde de have lært paa Seminarierne, men det har de som Regel ikke. Naar en Elev til Lærereksamen faar m g eller u g i Fysik, er det ingenlunde et Udtryk for, at han er meget godt skikket eller udmærket dygtig til at undervise i Fysik. Karakteren udtrykker lige saa lidt som en Karakter til Studentereksamen noget om, hvorledes vedkommende er som Fysiklærer. Selvfølgelig er det nødvendigt, at en Fysiklærer kan noget Fysik selv; men lige saa lidt som en Læge kan operere, fordi han har lært noget om det menneskelige Legeme, men selv maa ind til Operationsbordet og under kyndig Vejledning selv have fat paa Kniven, lige saa lidt kan man undervise i Fysik, blot fordi man selv har lært lidt Fysik. Hvis Fysikundervisning alene bestod i at fortælle og forklare, kunde det vel gaa. Men det gør det netop ikke. Den maa grundlægges paa Forsøg, d e r l y k k e s. Men at kunne gøre disse Forsøg er meget forskelligt fra at vide, hvorledes de skal gøres, og hvad man skal lære af dem. Om de lykkes eller mislykkes, beror i meget høj Grad paa, om Læreren gennem Erfaring og Øvelse har faaet det rette Haandelag og lært at iagttage de mange tilsyneladende ubetydelige Smaating, som slet ikke kan læres ved at se andre udføre Forsøgene, og som slet ikke kan omtales i Teorien. Mislykkede Forsøg spilder Tiden, er vildledende og ikke vejledende. At eksperimentere maa Seminaristerne nu lære sig selv, efter at de er kommen ud i Skolerne, og det er ikke let. De fleste opgiver det. I hvert Tilfælde gaar det slemt ud over Skolesamlingerne, der maa tjene som Øvelsesmateriale for de Lærere, der er i Færd med at uddanne sig til Lærere, efter at de har gennemgaaet en L æ r e r uddannelse.

Naturligvis kan man ikke paa en Skole uddanne fuldt færdige Lærere, men man burde kunne hjælpe dem over de egentlige Begyn-

Digitized by Google

dervanskeligheder. Men Pædagogik og Praktik paa Seminarierne gaar nu ikke videre end til at give nogle almindelige Regler. Til en faglig systematisk Øvelse er der aldeles ikke Tid, især da de Fag, og deriblandt Fysik, hvori den er særlig nødvendig, slutter efter 2 Aars Undervisning. Ud over det Stof, der nu læres, burde hver Elev paa Seminariet gennemgaa en Lærebog for Folkeskolen og gøre alle de Forsøg, som hørte dertil. I den Retning vil kun en Ændring af Læreruddannelsen kunne reformere.

Ogsaa i anden Henseende er det gaaet tilbage. Tidligere var der et fast Feriekursus for Lærere i Folkeskolen paa Karise Højskole; det er gaaet ind, og det har ikke været muligt at faa Midler til at genoptage det. Naar man betænker, hvor stor Tilslutning dette Kursus havde, og hvilke særlige Vanskeligheder Lærere i Fysik har at kæmpe med, forstaar man, hvor uretfærdigt det er mod Fysiklærerne, at der ikke er noget Kursus i Fysik for Lærere i Folkeskolen.

Nu forbereder man ved storartede Højtideligheder at fejre Hundredaaret for Ørsted som Grundlægger af Elektrodynamikken, og man haaber derigennem at vise Verden, at han virkelig bør have Æren derfor. Man har herhjemme kunnet harmes over, at Verden ikke fuldt ud har villet anerkende ham, men hvor beskæmmende er det ikke for hans Landsmænd, at de endnu saa langt fra har forstaaet hans anden store Kongstanke, at Naturfagene er et værdifuldt Dannelsesmiddel, og derfor bør Kundskaber om Naturen og dens Love være alles Ejendom, og det kan de kun blive gennem Folkeskolen. Det vilde være en god Maade at fejre Ørsteds Minde paa, om man nu med Interesse og Offervillighed kunde hjælpe Lærerne i deres Vilje til at tage Fysikundervisningen op; og det vilde være en naturlig Opgave for Selskabet for Naturlærens Udbredelse at arbejde for at faa ansat en Fysikinspektør og faa oprettet et Kursus i Fysik for Folkeskolens Lærere, og jeg vilde hermed meget indtrængende opfordre Selskabets Bestyrelse til at tage dette under Overvejelse.

Vordingborg i Aug. 1919.

Digitized by Google

Danske Eksamensopgaver.

1. Del af Skoleembedseksamen i Matematik, Astronomi med praktisk Matematik, Fysik og Kemi. Sommeren 1919.

Fysik I.

1. En Kolbe, hvis Hals er dannet af et Haarrør, er fyldt med Vand, som ved 0^0 C staar op til et Mærke paa Halsen. Ved Opvarmning til $11^0{,}5$ C viser Vandet sig at staa op til samme Mærke. Find heraf og ved Tabellen S. 212 i »Fysiske Maalemetoder« Beholderens Rumudvidelseskoefficient γ med den Nøjagtighed, som kan naaes ved Tabellens Cifferantal. Hvilken Betydning har Størrelsen af Kolbens Rumfang for Bestemmelsen af γ?

2. En lukket Beholder er helt fyldt med en Vædske. Naar dens Temperatur er 0^0 C, udøver Vædsken 1 Atmosfæres Tryk paa Beholderens Vægge. Idet man lader Temperaturen stige til t^0 C, spørges der om, hvilket Tryk Vædsken da vil udøve. Vædskens og Beholderens Rumudvidelseskoefficienter er givne henholdsvis lig α og β; man har $\alpha > \beta$. Vædskens Kompressionskoefficient er givet lig C, og om Beholderen er det givet, at dens Rumfang vokser med q Procent ved en Forhøjelse lig 1 Atmosfære af det indvendige Tryk. De givne Koefficienter regnes uafhængige af Tryk og Temperatur. Ved Beregningen af det søgte Tryk kan man bortkaste Led, der indeholder 2 af Koefficienterne som Faktorer.

(K. Prytz: Fysiske Maalemetoder, 2. Udg. og Logaritmetabel medtages).

Løsninger.

1. I Tabellen findes Rumfanget af 1 g Vand ved 0^0 til 1,00013 og (ved Interpolation) Rumfanget ved $11^0{,}5$ til 1,00041. Man har da

$$1{,}00013\,(1 + 11{,}5\gamma) = 1{,}00041. \qquad \gamma = 0{,}000024.$$

Jo større Kolbens Rumfang er, desto nøjagtigere konstaterer man Indstillingen paa Mærket.

2. Beholderens Rumfang ved 0^0 og 1 Atmosfæres indre Tryk kaldes v_0, Rumfanget ved t^0 og det søgte indre Tryk p kaldes v; man har da $v = v_0(1+\alpha t)(1 - C(p-1)) = v_0(1+\beta t)\left(1 + \frac{q}{100}(p-1)\right)$.

Med den tilladte Tilnærmelse faas $p = 1 + \frac{(\alpha - \beta)\,t}{C + \frac{q}{100}}$.

Digitized by Google

Fysik II.

Beregn paa Grundlag af de følgende lagttagelsesresultater Kulsyrens Absorptionskoefficient i en Opløsning, indeholdende 10 Vægtdele Kogsalt i 100 Vægtdele Vand.

Den forelagte Opløsning bringes ind i en større Beholder. Luften i Beholderen erstattes dernæst med Kulsyre, hvorpaa Beholderen lukkes og rystes, til Opløsningen er mættet med Kulsyre; Temperaturen findes da at være 50°,37 C, medens Trykket er 793,12 mm Kvægsølvtryk.

En Portion paa 250 cm^3 af den med Kulsyre mættede Opløsning tages ud af Beholderen; Kulsyren uddrives af denne Portion og føres over i et Maalerør, hvor dens Rumfang findes at være 77,97 cm^3 ved en Temperatur paa 22°,30 C, et Tryk paa 753,76 mm og et Indhold af Fugtighed, der er givet ved at Kulsyrerummet i Maalerøret er mættet med Vanddamp.

Der ses bort fra Opløsningens Rumfangsændring ved Absorptionen. De anførte Aflæsninger af Tryk og Temperatur er alle korrigerede.

(Til Prøven medtages C. Christiansen, Lærebog i Fysik, 4. Udgave, samt en Logaritmetabel (5-cifret)).

Løsning.

I Maalerøret er Kulsyrens Tryk 753,76 — 19,99 = 733,77 (Tabellen S. 223), saa at dens reducerede Rumfang er

$$\frac{77{,}97}{1+\frac{22.30}{273}}\cdot\frac{733{,}77}{760}=69{,}593\ cm^3.$$

Vanddampes Tryk p ved 50°,37 findes ved Hjælp af Antoines Formel (S. 224) til 93,886 mm. Da den relative Damptrykformindskelse for den givne Saltopløsning (Tabellen S. 228) er $\frac{q}{p}=0{,}064$, findes Damptrykformindskelsen til 6,009 mm og Damptrykket over Saltopløsningen ved 50°,37 til 87,877 mm. Kulsyrens Partialtryk er da 705,24 mm.

Absorptionskoefficienten bliver da

$$\frac{1}{250}\cdot 69{,}593\cdot\frac{760}{705{,}24}=0{,}3000.$$

Digitized by Google

Anmeldelser.

Th. Sundorph: Lyslære for Gymnasiet. 64 Sider. København 1919, G. B. N. F. Pris indb. Kr. 2,50.

Denne Lyslære er ligesom Overlærer Sundorphs andre Lærebøger for Gymnasiet — Elektricitetslæren undtagen — af mindre Omfang end tilsvarende Bøger her i Landet plejer at være. Dette er opnaaet dels ved Kortfattethed i Fremstillingen og dels ved Forbigaaelse af mange Detaljer og Ting, som er Eleverne bekendt fra Mellemskolens Undervisning.

Bogen er beregnet paa, at i hvert Fald de første Afsnit kan læses paa et tidligt Tidspunkt i Gymnasiet, og disse Afsnit vil ogsaa falde Eleverne lette. I Overensstemmelse med Overlærer Sundorphs hele Maade at tage Fysiken paa er de sædvanlige Tilnærmelsesregninger ved Udledelsen af Formler for største Delen udeladt og erstattet med simple grundlæggende Forsøg. Saaledes udledes f. Eks. Formlen

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p}$$

paa Grundlag af de to ved Forsøg fundne Fakta, at Samlelinsen samler Straaler, der kommer parallelt med Linsens Akse, i et Brændpunkt, og at der dannes virkelige Billeder af Genstande i passende Afstande fra Linsen. Den tilsvarende Formel for Spredelinsen udledes af et Forsøg, hvor Spredelinsen kombineres med en Samlelinse af samme Glassort og med samme Radier. Hele denne Fremstilling er sikkert at foretrække for den sædvanlige, idet Eleverne gennem Forsøgene stadig har fast Grund under Fødderne. En Ulempe er det, at f. Eks. det uundværlige Udtryk for Linsens Brændvidde ved Brydningsforhold og Krumningsradier kommer til at sværve i Luften.

Afsnittet om optiske Instrumenter er fyldigt og godt behandlet. Det maa paaskønnes, at Begrebet Forstørring er blevet defineret for de forskellige Instrumenter. Mindre fuldstændige er Bemærkningerne om Synsfeltet ved Galilæis Kikkert; men en udtømmende Behandling heraf ligger vist ud over, hvad Eleverne almindeligvis kan magte. En smuk og fyldig Forklaring af Prismekikkerten virker tiltalende.

Afsnittet om Lysets Farvespredning er temmelig kortfattet, og navnlig gaar Bogen let hen over Læren om Akromatisme. Til objektiv

Digitized by Google

Fremstilling af et rent Spektrum anbefales som udmærket et Apparat med en Auerlampe som Lyskilde; en Buelampe med Opstilling som tidligere beskrevet her i Tidsskriftet af Adjunkt Kofoed vil dog vist i enhver Henseende være langt at foretrække og vil for de fleste Skoler være lige saa let tilgængelig. Skolens Projektionsapparat kan ogsaa være til god Nytte ved disse Forsøg. Allersmukkest bliver Forsøgene, hvis man har en Heliostat og kan anvende Sollys.

Forklaringen af Straalegangen ved Luftspejlinger afviger fra den sædvanlige (fuldstændig Tilbagekastning) og bygger paa den Sætning, at Lysets Hastighed er omvendt proportional med Brydningsforholdet.

Bogen ender med en Samling af 27 Opgaver, som foruden Taleksempler indeholder adskillige, der kan tjene til at supplere og uddybe Bogens Tekst.

Som Helhed faar man Indtryk af, at der bag denne Bog ligger et grundigt og selvstændigt Arbejde af en erfaren Fysiklærer. Dens Forsøg kræver ikke kostbare og indviklede Apparater; men derfor stiller den ikke mindre Fordringer til den Lærers Dygtighed, som skal bruge den med fuldt Udbytte.

L. Christiansen.

Max Planck: Das Prinzip der Erhaltung der Energie. Dritte Auflage. 278 Sider. B. G. Teubners Forlag. Leipzig og Berlin 1913. Pris 6 Mk. indb.

Max Planck's snart klassiske Afhandling om Princípet om Energiens Bestaaen er nu udkommet i 3die Oplag. Dette nye Oplag er et praktisk talt uforandret Optryk af det oprindelige af Göttinger-Universitetet i 1887 prisbelønnede Skrift; kun enkelte mindre Ændringer er indførte. Bogen giver efter en historisk Fremstilling af Principets Udvikling en nøjagtig Formulering af det og til Slut en Række Anvendelser paa forskellige Omraader: mekaniske, termiske og kemiske samt elektriske og magnetiske.

Anden Udgave af Afhandlingen blev i sin Tid anmeldt her i Tidsskriftet (af N. Bjerrum, Fys. Tidsskr. 7de Aarg. 1908—09, Side 191), og der er derfor ingen Grund til her at gaa nærmere ind paa Indholdet. Bogen kan varmt anbefales enhver, der ønsker en indgaaende klar og eksakt Fremstilling af det for hele Fysiken saa grundlæggende Energiprincip.

A. W. Marke.

Digitized by Google

Professor A. Sommerfelds Besøg i Fysisk Forening.

I Septbr. 1919 havde Fysisk Forening den Glæde at se som sin Gæst Prof. A. Sommerfeld fra München, der d. 22. og d. 23. Septbr. holdt 2 Foredrag med Titlerne: Molekular-, Atom- und Kernmodelle og Über Bandenspektra. Efter det første Foredrag fejredes Prof. Sommerfeld ved en Fest paa Langelinies Pavillon, hvor der blev holdt Taler af Prof. M. Knudsen, Prof. C. Juel og Prof. Johs. Mollerup.

Af det første Foredrag ser »Fysisk Tidsskrift« sig ikke i Stand til at bringe et fuldstændigt Referat; det væsentligste af dets Indhold er taget med i Prof. Sommerfelds nedenfor anmeldte Bog: »Atombau und Spektrallinien«; Afsnittet om Kernemodeller vil blive kort refereret i en anden Forbindelse i et følgende Hefte. Af det andet Foredrag bringer vi nedenfor Prof. Sommerfelds eget Referat af Indledningen*); Resten af Foredraget var væsentlig en Fremstilling af de specielle Resultater, der er vundne ved Anvendelse af de nye Synspunkter paa specielle Baandspektre.

En ensartet Opfattelse af Balmers og Deslandres' Serieled.

Af A. Sommerfeld, München.

I de Foredrag, som jeg havde den Ære at holde i September i Fjor i Fysisk Forening i København, skitserede jeg blandt andet en Teori for Baandspektre, som er opbygget paa det af Bjerrum[1])

*) For dette Referat og for Tilladelsen til at lade det oversætte bringer vi ogsaa her Professor Sommerfeld Redaktionens bedste Tak. Oversættelsen og Anmærkningerne (der er samlede efter Referatet, og hvortil der henvises ved Tal) skyldes H. M. Hansen.

Digitized by Google

og Schwarzschild[2]) givne Grundlag, hvis Rigtighed er bleven bevist for nogle Typer af Baandspektre ved Heurlingers*)[3]) systematiske Maalinger og ved hans Opfattelse især af Baandkanternes Natur. Denne Teori er senere ført videre af W. Lenz**) og udstrakt til Brints og Heliums Baandspektre, hvorved den har vundet væsentligt i Interesse. I mit Foredrag i København kunde jeg allerede støtte mig til Resultaterne af disse Lenz' Undersøgelser. Følgende Bemærkninger dannede Indledningen til dette Foredrag.

Medens det i den oprindelige Kvanteteori var Oscillatoren, der tjente som Model, træder Rotatoren i Forgrunden i den nyere Udvikling, som Bohrs Teori har givet Stødet til. Lad ω være Vinkelhastigheden og I Inertimomentet om Omdrejningsaksen, som vi forudsætter er en Hovedakse, altsaa $I\omega$ Impulsmomentet; Kvantebetingelsen for Rotatoren lyder da:

$$I\omega = \frac{mh}{2\pi}, \quad (m \text{ hel}). \tag{1}$$

Rotatorens kinetiske Energi:

$$E = \frac{I\omega^2}{2} = \frac{(I\omega)^2}{2I}$$

antager, naar (1) indsættes, Formen:

$$E = \frac{h^2}{8\pi^2 I} m^2. \tag{2}$$

Vi skelner nu mellem to Tilfælde:

a) Inertimomentet har en af Rotationen uafhængig Hovedbestanddel I_0 og forandres kun uvæsentligt ved Rotationen, nemlig med Leddet ΔI_m, der er lille mod I_0 (Ekspl. Jorden og dens Fladtrykning).

b) Inertimomentet opstaar først ved Rotationen og afhænger derfor væsentligt af Kvantetallet m; det forsvinder med forsvindende m. (Ekspl. Centrifugalregulatoren eller Bohrs Brintatom).

---

*) Smlgn. især: Untersuchungen über die Struktur der Bandenspektra, Diss. Lund. 1918; Phys. Zeitschr. 20, 188, 1919.

**) Verh. d. d. Phys. Gesellsch. 21, 632, 1919.

Digitized by Google

I Tilfælde a) skriver vi:

$$I = I_0 + \Delta I_m; \tag{3}$$

i Tilfælde b) for Brintatomet gælder:

$$I = \mu a_m^2 = \mu a_1^2 m^4; \tag{4}$$

her betyder μ Massen af den roterende Elektron, a_m Radius i den m'te Bohr'ske Cirkelbane $= a_1 m^2$; a_1 er Radius i den inderste Cirkelbane $= \frac{h^2}{4\pi^2 \mu e^2}$.[4])

I Tilfældet a) er Energien efter (3) i det væsentlige udtrykt ved:

$$E = \frac{h^2}{8\pi^2 I_0} m^2,$$

altsaa proportional med m^2. I Tilfælde b) kan en Faktor m^2 bortforkortes paa Grund af (4); Energien bliver da proportional med $\frac{1}{m^2}$, nemlig:

$$E = \frac{h^2}{8\pi^2 \mu a_1^2} \cdot \frac{1}{m^2}.$$

Fra Energien kommer man ved Division med h til »Leddet«[5]), d. v. s. til det Bidrag, som Energien i henholdsvis Begyndelses- og Slutningskonfigurationen giver til den spektrale Emission; vi faar: i Tilfælde a) Deslandres' Led paa Formen:

$$Am^2, \quad A = \frac{h}{8\pi^2 I_0}; \tag{5}$$

i Tilfælde b) Balmers Led paa Formen:

$$\frac{N}{m^2}, \quad N = \frac{h}{8\pi^2 \mu a_1^2}. \tag{6}$$

Ved Indsættelse af Værdien for a_1 ovenfor ses straks, at dette Udtryk for N er identisk med Bohrs Forklaring af Rydberg-Konstanten:

Digitized by Google

$$N = \frac{2\pi^3 \mu e^4}{h^3}.$$

Hertil maa endnu føjes, at vi her kun har taget Hensyn til Brintrotatorens kinetiske Energi, medens der i Virkeligheden ogsaa skal tages Hensyn til den potentielle Energi. Men da denne er dobbelt saa stor som den kinetiske Energi og negativ, skifter Leddet derved blot Fortegn uden at ændre sin numeriske Værdi. Man kan endvidere bemærke, at den her vundne Form af Balmerleddet ikke blot gælder for den simple cirkulære Rotator, men ogsaa (bortset fra den relativistiske Masseændring) for den elliptiske Rotator, naar Kvantetallet opfattes paa en dertil svarende generaliseret Maade.

Den her givne Sammenstilling indeholder saglig intet nyt over for paa den ene Side Schwarzschilds, paa den anden Side Bohrs grundlæggende Arbejder. Men den viser maaske tydeligere end hidtil kendt, at Deslandres' Led spiller samme Rolle for Baandspektre som Balmers Led for Liniespektre. Deslandres-Leddet er paa samme Maade den simpleste Type for Systemer med et oprindeligt tilstedeværende, af Rotationen væsentlig uafhængigt Inertimoment (et Molekyle), som Balmer-Leddet er Forbilledet for alle Systemer med et Inertimoment, der afhænger væsentlig af Rotationen og først opstaar ved denne (et Atom).

Hvordan man gaar over fra Deslandres-Leddet til Fremstilling af selve Baandspektrene ved at kombinere to Rotationstilstande, skal ikke omtales nærmere her. Men det er vigtigt derved at lægge Mærke til, dels at man til Ændringen i Molekylets Rotationstilstand maa tænke sig knyttet en Ændring i dets indre Konfiguration, dels at man, som allerede Heurlinger har gjort det, maa tage Hensyn til »Udvalgsprincipet« (f. Eks. som Følge af Bohrs Analogiprincip[6])), hvorefter Rotationskvantetallet m kun kan gaa over til Nabotallene $m \pm 1$ eller eventuelt forblive uændret. Endvidere er det vigtigt, at der tages Hensyn til de smaa Ændringer i Inertimomentet, som antydes i (3), og som dels kan tænkes at skyldes den ydre Rotationsændring, dels den indre Konfigurationsændring. Paa denne Maade naar man (se W. Lenz, l. c.) til en kvalitativ og i flere Tilfælde ogsaa kvantitativ Forstaaelse af Baandstrukturerne, og man kan deraf vente lige saa indgaaende og sikre Oplysninger til Udvikling af vort Kendskab til Molekylmodellerne som fra Seriespektrene til Atom-

Digitized by Google

modellerne. Som et særlig interessant Resultat maa fremhæves, at det ad denne Vej har vist sig ved Undersøgelse af Brintens Baandspektrum, at Bohrs Model af H_2-Molekylet ikke kan være rigtig, skønt den blev bekræftet ved Debyes Dispersionsregninger[7]).

Anmærkninger.

[1]) Sml. N. Bjerrum: Nyere Undersøgelser over Atomernes Bevægelser med særligt Henblik paa Kvantehypotesen. Fys. Tidsskr. *14*, S. 49, 1915—16. Bjerrum forklarede (1912) som den første Strukturen af visse ultrarøde Absorptionsbaand ved at tage Hensyn til den Indflydelse, som det absorberende Molekyles Rotation har paa Periodetallet (Bølgebredden) af de Svingninger, der udføres i Molekylet. Er Periodetallet for Svingningerne ν_s, for Rotationen ν_r, vil det paa Grund af Svingningerne udsendte Lys ikke have Periodetallet ν_s, men $\nu_s \pm \nu_r$, og altsaa vil det af Svingningerne fremkaldte Absorptionsbaand blive dobbelt som Følge af Rotationen. Imidlertid viste det sig ved nærmere Undersøgelse af ultrarøde Absorptionsbaand, at de Dobbeltbaand, som de rigtigt viste sig at bestaa af, havde en indviklet Finstruktur, idet hver af Komponenterne i Dobbeltbaandet havde en hel Række Maxima. Heraf drog Bjerrum da den Slutning, at Molekylerne roterer fortrinsvis med visse bestemte Frekvenser, saa at Rotationsenergien optræder i Kvanter; Energidifferenserne mellem de foretrukne Rotationsfrekvenser viste sig netop at være et helt Antal Planck'ske Kvanter. Bjerrums Forklaring af de ultrarøde Baands Struktur er en af de smukkeste tidlige Anvendelser af og Støtter for Kvanteteorien.

[2]) Schwarzschild (Berl. Ber. 1916, S. 548) har vist, at Deslandres' Formel for Baandspektre ligeledes kan forklares ved Indflydelsen af saadanne Molekylrotationer. Deslandres' Formel (1886) fremstiller som bekendt for et stort Antal Baandspektre med betydelig Tilnærmelse Svingningstallene for de enkelte Linier i et Baand. Den skrives paa flere Former, saaledes paa Formen $\nu = c + Am^2$; ν er Svingningstallet, c og A Konstanter, m gennemløber Rækken af de hele Tal, saa at hver enkelt Linie i Baandet svarer til sin Værdi af m. Schwarzschild betragter et simpelt bygget Molekyle, der roterer med en Rotationsenergi bestemt ved et helt Antal m Kvanter; han viser da, at man kommer til den anførte Form

Digitized by Google

af Deslandres' Formel, naar man antager, at Emissionen af et Baand kommer i Stand ved, at Molekylet under Overgang fra en »stationær« Tilstand til en anden udstraaler Energimængden $h\nu_0$ og samtidig ændrer sin Rotationsenergi med et eller flere Kvanter fra m til m' Kvanter. Han finder $\nu = \nu_0 + \frac{h}{8\pi^2 I}(m^2 - m'^2)$; h er Plancks Konstant, I Molekylets Inertimoment. Hvert bestemte Baand svarer altsaa til sin bestemte Overgang mellem to stationære Tilstande af Molekylet, idet denne Overgang bestemmer ν_0; det store Antal Enkeltlinier i Baandet fremkommer da ved Rotationens Indflydelse paa denne Overgang.

Ved mindre specielle Antagelser angaaende Molekylets Bygning faar man ogsaa et Led af 1. Potens i m med i Deslandres Formel, hvilket Erfaringen i de fleste Tilfælde kræver. Denne Schwarzschilds Opfattelse af Baandenes Opstaaen kan dog næppe være helt rigtig. Ved Variation af m faas en mod violet forløbende Deslandres-Serie, ved Variation af m' en mod rødt forløbende. Da i de virkelige Baand kun enten m eller m' varierer, men man hyppigt har 100 eller flere Enkeltlinier i Baandet, skulde altsaa alle disse ca. hundrede forskellige Rotationstilstande gaa over til en eneste, hvilket næppe er meget sandsynligt.

[3]) Heurlinger (i Lund) har i 1916 bragt et meget betydeligt Fremskridt i Forstaaelsen af Baandspektrene. Han sætter, da Svingningstallet af det ved en Overgang udsendte Lys i hvert Fald maa afhænge af Molekylets samtidige Rotation, $\nu = F(\omega)$, hvor ω er Vinkelhastigheden for Molekylerotationen. Antages, at Funktionen F kan udvikles i en Potensrække af Formen $\nu = \nu_0 + c_1\omega + c_2\omega^2 + \ldots$, og antages videre i Analogi med Bjerrum kun bestemte Vinkelhastigheder mulige, f. Eks. svarende til et helt Antal m Kvanter, faas $\nu = \nu_0 + C_1 m + C_2 m^2$ (C_1 og C_2 er Konstanter), hvilket er en Form af Deslandres' Formel, der giver udmærket Overensstemmelse med Erfaringen for bestemte Baandtypers Vedkommende. Et saadant Baand har for m lig et helt Tal nær $-\frac{C_1}{2C_2}$ en Kant, fra hvilket tilsyneladende to Serier af Enkeltlinier i Baandet udgaar til samme Side i Spektret; men disse to Serier er i Virkeligheden en og samme Serie, der blot »vender« ved Kanten, saa at Kanten ikke i nogen Henseende er udmærket fremfor de andre Enkeltlinier i Baandet. Man kan derfor heller ikke vente

Digitized by Google

simple Love for Baandkanternes Beliggenhed i Spektret, hvilket i Reglen tidligere har været søgt; man maa søge Love for Beliggenheden af den til Ordenstallet $m = 0$, altsaa $\nu = \nu_0$ svarende Nullinie i hvert Baand; denne udmærker sig ogsaa i Intensitet for de andre Linier, idet den hyppigst er den svageste, saa at Intensitetsforløbet ligner det i et ultrarødt Bjerrum-Baand, blot at noget af det ene Halvbaand saa at sige er bøjet om og lagt ind mellem Resten af Baandet. Heurlinger har senere (l. c.) ført sin Teori videre og samtidig prøvet den paa et stort Antal Baand af forskellige mere indviklede Typer, som han og hans Medarbejdere i Lund har undersøgt.

[4]) Sml. N. Bohr: Om Brintspektret. Fys. Tidsskr. *12*, S. 97, 1913—14.

[5]) Balmers velkendte Formel for Svingningstallet af Linierne i Brintens Seriespektrum lyder:

$$\nu = N\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right),$$

hvor N er den saakaldte Rydbergs Konstant og n_1 og n_2 to hele Tal. Sættes $n_1 = 2$ og n_2 lig Rækken af de hele Tal fra 3 opefter, faas Linierne i det almindelige (synlige) Brintspektrum, altsaa den oprindelige Balmer-Formel. Sættes $n_1 = 3$, faas paa samme Maade ved at lade n_2 gennemløbe Rækken af de hele Tal en Serie i det ultrarøde (opdaget af Paschen), og sættes $n_1 = 1$, faas en Serie i det yderste ultraviolette (opdaget af Lyman). Bohr har som bekendt (l. c.) forklaret Balmers Formel ved at antage, at enhver Linie udsendes under Atomets Overgang fra én stationær Tilstand med Energien $E_2 = -\frac{Nh}{n_2^2}$ til en anden stationær Tilstand med Energien $E_1 = -\frac{Nh}{n_1^2}$; den herved udstraalede Energimængde $E_2 - E_1$ udsendes med et Svingningstal ν bestemt af $h\nu = E_2 - E_1$. Det enkelte »Led« i Balmers Formel er altsaa $\frac{1}{h}$ af Energien i en af de Konfigurationer i Atomet (de stationære Tilstande), hvorimellem Overgangen finder Sted. (Bohr viste endvidere at $N = \frac{2\pi^2\mu e^4}{h^3}$, der naar Værdierne af μ, e og h indsættes stemmer nøje med den fra Spektralanalysen fundne Værdi af N). Paa lignende Maade bliver Leddet i den simpleste Deslandres' Formel $\frac{h}{8\pi^2 I} m^2$.

Digitized by Google

[6]) Angaaende Analogiprincipet maa henvises til en Artikel af N. Bohr i et følgende Hefte af Fysisk Tidsskrift.

[7]) Den Model af H_2-Molekylet, der her sigtes til, har Bohr ogsaa opgivet. Det er dog endnu ikke lykkedes at bestemme en anden sandsynligere Model. — Brintens Baandspektrum (»Viellinienspektrum«), der omtales her, har ikke altid været erkendt som et Baandspektrum. Jo mindre det roterende Molekyles Inertimoment er, des hurtigere roterer det med en bestemt Rotationsenergi, og des længere bliver derfor Afstanden mellem Enkeltlinierne i Baandet. For Brintens Vedkommende med det meget lille Inertimoment bliver Afstanden saa stor, at de forskellige Baand griber stærkt ind i hverandre; derved forstaar man Vanskeligheden ved at erkende det som et Baandspektrum.

Einsteins almindelige Relativitetsprincip*).

Af H. M. Hansen.

I det følgende skal søges givet en elementær Fremstilling af Einsteins almindelige Relativitetsprincip, som har vakt saa overordentlig Opsigt, især efter at en af dets mærkeligste Konsekvenser har kunnet prøves under en total Solformørkelse i 1919 og viste sig at være overensstemmende med Virkeligheden. Til Forstaaelse af dette almindelige Relativitetsprincip, der fik sin endelige Form i 1915, kræves imidlertid et vist Kendskab til dets Forgænger, Einsteins første eller, som det nu kaldes, specielle Relativitetsprincip fra 1905, men Pladsen tillader her kun en ganske kort Omtale af dette, der oftere har været behandlet i Fysisk Tidsskrift**).

Den mekaniske Fysiks Relativitetsprincip. Det Problem, der gav Anledning til Opstilling af det specielle Relativitetsprincip, er Spørgsmaalet, om man kan konstatere en absolut Hastig-

*) Efter et Foredrag holdt i Dansk Ingeniørforening Onsdag den 21. Januar 1920 (for de første Afsnits Vedkommende stærkt forkortet).

) Fys. Tidsskrift **10, S. 251, 1911—12 (H. M. Hansen). **12**, S. 242, 1913—14 (P. Ehrenfest). **14**, S. 1, 1915 - 16 (K. Kroman). **15**, S. 1, 1916—17 (Helge Holst). **15**, S. 18, 1916—17 (H. M. Hansen). **15**, S. 165. 1916—17 (Helge Holst) **15**, S. 192, 1916—17 (K. Kroman).

Digitized by Google

hed. Som bekendt er dette ikke muligt inden for den Del af Fysiken, der kan opbygges paa Newtons 3 Bevægelsesprincipper, altsaa i den mekaniske Fysik i videste Forstand, idet Udtrykkene for de 3 Love bliver uforandrede, naar man fra et Koordinatsystem, hvori de er gyldige, gaar over til et andet, der bevæger sig jævnt og retliniet i Forhold dertil. Dette betyder, at Iagttagere i de to Systemer gør ganske ens mekaniske Erfaringer; enhver Bevægelse og i det hele taget ethvert Fænomen, der er bestemt af de 3 Newtonske Love, forløber paa nøjagtig samme Maade i de to Systemer. Men naar det saaledes er umuligt ved Studium af Bevægelser i Forhold til et vist Koordinatsystem at faa noget at vide om dette Koordinatsystems absolutte Hastighed, kan man heller ikke forbinde nogen Mening med inden for den mekaniske Fysik at tale om absolut Hastighed. Den mekaniske Fysik har altsaa siden Newton besiddet et, ganske vist i Reglen ikke direkte udtalt Relativitetsprincip eller en Relativitetssætning, der foreløbig kan formuleres saaledes: Alle Systemer, der bevæger sig i Forhold til hinanden med jævn Hastighed, er lige gode og lige berettigede til Beskrivelse af de mekaniske Fænomener.

Herved har der endnu ikke været Tale om accelererede Bevægelser. En accelereret Bevægelse, f. Eks. en Rotation, er tilsyneladende let nok at paavise, d. v. s. adskille fra en ikke accelereret. Saaledes konstaterer vi Jordens Rotation ved Foucault's Pendulforsøg, ved faldende Legemers Afvigelse mod Øst osv., ligesom Jordens Fladtrykning, Passater og Cykloner er Vidnesbyrd om den. I et accelereret Koordinatsystem gælder altsaa Newtons Mekanik ikke, med mindre der indføres fiktive Kræfter, Træghedskræfterne, specielt for Rotation Centrifugalkræfterne. De ligeberettigede Systemer, der er Tale om i Mekanikens Relativitetssætning, maa derfor være i k k e a c c e l e r e r e d e Systemer, Systemer hvori Inertisætningen gælder; man kalder dem I n e r t i a l s y s t e m e r eller Galilei-Systemer. Mekanikens Relativitetssætning bør da formuleres saaledes: Alle Inertialsystemer er i mekanisk Henseende ligeberettigede.

Et Koordinasystem, der hviler her paa Jorden, er strengt taget ikke et Inertialsystem, da Inertisætningen her kun gælder med Tilnærmelse paa Grund af Jordens Rotation. En meget bedre Tilnærmelse til et Inertialsystem er et Koordinatsystem knyttet til Solsystemets Tyngdepunkt, men ogsaa her er der dog kun Tale om en Tilnærmelse, da Solsystemet ikke kan betragtes som fuldstændig overladt til sig selv;

Digitized by Google

i Tidens Løb kommer det paa Grund af den relative Bevægelse i Forhold til Fiksstjernerne til Egne med et andet Gravitationspotential, saa at Tyngdepunktets Bevægelse ikke nøjagtig følger Inertiens Lov, men maa have en vis omend meget lille Acceleration.

Det specielle Relativitetsprincip. Det voksende Kendskab til Elektricitetslæren og Optiken gjorde det stadig klarere, at Newtons Mekanik ikke var et tilstrækkeligt Grundlag til Behandling ogsaa af de elektriske og optiske Fænomener. Man maatte tage Hensyn til et nyt Medium, Æteren, hvorigennem de elektriske og magnetiske Virkninger forplantede sig, og det laa da nær at antage, at der derved alligevel var givet en Mulighed for at definere absolut Hvile og bestemme en Hastighed absolut, nemlig i Forhold til Æteren, eller som det ogsaa kan udtrykkes, en Mulighed for at udmærke et Inertialsystem, det i Æteren hvilende, frem for de andre. Den paa Forhaand usandsynlige Antagelse, at Æteren skulde følge med Jorden, vilde, naar Aberrationen skulde forklares, føre til urimelige Egenskaber hos Æteren. Imidlertid er dog alle Forsøg paa at paavise den »Ætervind«, som efter denne Opfattelse skulde blæse overalt paa Jorden, som bekendt strandede, og medens dette forklaredes af H. A. Lorentz ud fra Elektronteorien for de Forsøg, hvor der er Tale om en Virkning proportional med 1. Potens af Jordens (Ætervindens) Hastighed, kræves der nye Hypoteser for at forklare det negative Resultat af Michelson-Forsøget og de andre Forsøg paa at paavise Virkninger proportionale med 2. Potens af Jordens Hastighed. Saadanne nye Hypoteser opstillede Lorentz i 1904, medens Einstein i 1905 søgte Løsningen ad en ganske anden Vej, hvorved han indførte et nyt overmaade frugtbart Arbejdsprincip i Fysiken. Han var som Lorentz overbevist om, at det ikke var tilfældigt, at ogsaa alle de nævnte Forsøg af 2. Orden havde givet negativt Resultat, men fremfor gradvis at ændre de hidtidige Teorier, indtil de kunde føre til, at det er umuligt at paavise en absolut Bevægelse, gik han ud fra dette som et Princip eller Postulat og søgte at drage alle Konsekvenser deraf for gennem disses Prøve ved Erfaringen at faa afgjort, om Udgangsprincipet var rigtigt.

Einstein opstillede da følgende Relativitetspostulat: Naturlovene er ens i alle Inertialsystemer, der bevæger sig jævnt retlinet i Forhold til hverandre. Dette Postulat, der nu kaldes det specielle Relativitetsprincip, er altsaa en Udvidelse af Mekanikens Relativitetssætning, en Paastand om at lige saa

Digitized by Google

lidt som Mekaniken gjorde det, giver Resten af Fysiken os Midler i Hænde til mellem de Koordinatsystemer, hvori der gælder simple fysiske Love, at udmærke et System frem for de andre, saaledes at det kan bruges til at definere absolut Hvile og Bevægelse.

For at finde de Transformationsligninger, ved hvilke man gaar over fra et af disse ligeberettigede Koordinatsystemer til et andet, d. v. s. fra Kendskab til Forløbet af et fysisk Fænomen i et System A slutter sig til dets Forløb i et andet System B, der bevæger sig med den jævne Hastighed v i Forhold til det første, benytter Einstein Resultatet af Michelson-Forsøget, nemlig at Lysets Hastighed i et System, der er knyttet til Jorden, er lige stor i alle Retninger ($= c$). Relativitetsprincipet kræver, at det samme skal være Tilfældet i alle Systemer, der bevæger sig jævnt og retlinet i Forhold til dette System. I Valget netop af Lysets Forplantning til Udledelsen af Transformationsligningerne ligger ingen Vilkaarlighed; principielt kunde ethvert Fænomen bruges, naar det kendes tilstrækkelig nøjagtigt, d. v. s. at de Ændringer, Fænomenet undergaar, naar det iagttages fra Systemet B i Stedet for fra Systemet A, skal kendes med en Nøjagtighed af samme Størrelsesorden som de Ændringer, Relativitetsprincipet kræver i de fleste Naturlove; disse Ændringer er af Størrelsesordenen $\left(\frac{v}{c}\right)^2$, netop den Nøjagtighed, hvormed Michelson har vist, at Lysets Hastighed er ens i alle Retninger, og intet andet simpelt fysisk Fænomen kendes med samme Nøjagtighed. End ikke den Nøjagtighed, hvormed Newtons Bevægelseslove og Tiltrækningsloven er bekræftet ved Astronomiens Resultater, naar saa højt op, skønt man vel tidligere har været tilbøjelig til at mene, at Lovenes absolutte Rigtighed var godtgjort derved. Den praktiske Astronomi kan derfor intet indvende mod de Ændringer i Bevægelseslovene, som det specielle Relativitetsprincip medfører. Det eneste Tilfælde (Merkurs Perihelbevægelse), hvor en Afvigelse fra Newtons Love har kunnet konstateres, omtales nedenfor.

Det vil være overflødigt at gaa nærmere ind paa Transformationens matematiske Form (Lorentz-Transformationen); den fører til de kendte Resultater angaaende Længde- og Tidsopfattelsen i bevægede Koordinatsystemer. Saaledes vil enhver Stang, som i et af Systemerne A eller B ligger parallel med den relative Bevægelsesretning, og som i det System, hvori den hviler, maales at have Længden l, maalt fra det andet System (altsaa maalt af en ikke medbevæget Iagttager) synes

Digitized by Google

forkortet til $l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$, medens dens Længde maales ens i begge Systemer, naar den ligger vinkelret paa Bevægelsesretningen. Et Legeme, der hviler i *B* og dér findes at have Kugleform, vil altsaa set fra *A* synes at være en i Bevægelsesretningen fladtrykt Rotationsellipsoide, men en lignende Kugle, der hviler i *A*, vil set fra *B* synes at være ganske den samme fladtrykte Rotationsellipsoide.

Dernæst vil ethvert Ur, der hviler i et af Systemerne, set fra det andet System synes at gaa langsommere ($1 : \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ Gange langsommere) end de i dette andet System hvilende Ure, saa at enhver Iagttager vil finde, at Tidsenheden i et System, der bevæger sig i Forhold til ham, er større end i hans eget for ham hvilende System. Endelig finder enhver Iagttager, at Urene i det i Forhold til ham bevægede System viser Stedtid, saa at to Begivenheder, som efter hans eget Systems Ure indtræffer samtidigt paa to forskellige Steder, ikke vil indtræffe samtidigt efter det bevægede Systems Ure og altsaa ikke vil anses for samtidige af Iagttagere i det bevægede System.

Kravet om, at Fysikens Love skal være invariante over for Lorentz-Transformationen, har medført en Række vigtige og mærkelige Resultater, hvoraf for det følgendes Skyld to Eksempler maa omtales. Det første angaar Massen af et bevæget Legeme. En ikke medbevæget Iagttager vil finde, at det bevægede Legemes Masse ikke er konstant, men vokser med voksende Hastighed. Hvis Legemets Masse, naar det hviler, er *m*, og hvis det bevæger sig med Hastigheden *v*, saa er den træge Masse, som kommer i Betragtning ved en Ændring af denne Hastigheds Størrelse, den longitudinale Masse $m_l = \frac{m}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}}$ medens Massen over for en blot Retningsforandring af Hastigheden, den transversale Masse $m_t = \frac{m}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$. Disse Resultater er bleven nøje bekræftet ved Bestemmelse af Massen af de hurtigt bevægede Elektroner, man har i β-Partiklerne fra de radioaktive Stoffer.

Det andet Punkt, der skal omtales, er Energiens Masse. Udtryk-

Digitized by Google

ket for et Legemes Energi i Relativitetsteorien er $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$, der udviklet i Række giver $E = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{3}{8}m\frac{v^4}{c^2} + \cdots$ Det andet Led $\frac{1}{2}mv^2$ er det almindelige Udtryk for den kinetiske Energi, der altsaa efter Relativitetsteorien for store Hastigheder maa suppleres med de følgende Led. Det første Led mc^2, der er uafhængigt af v, maa være Legemets Energiindhold, naar det hviler. Forøges dette f. Eks. ved Opvarmning, maa altsaa m vokse, da c er konstant. Men paa Grund af c's meget store Værdi bliver Masseændringen ved almindelige Energiændringer meget lille. Den Energimængde, som ethvert Legeme efter dette indeholder, og som alene afhænger af Legemets Masse, er overordentlig stor; for 1 g bliver det saaledes $5 \cdot 10^{12}$ kgm; lidt af denne uhyre Energimængde er det, der frigøres ved de radioaktive Processer. Lovene om Massens og om Energiens Konstans smelter altsaa sammen til én Lov, da al Energi har Masse, og enhver Masse er Energi.

Lorentz anskueliggør, at Energi kan have træg Masse, ved at betragte nogle simple Eksempler. Vi tænker os først, at vi vil give en Beholder, der indeholder Luft, Acceleration f. Eks. fra venstre til højre. Dersom Beholderen var lufttom, vilde der dertil kræves en vis Kraft bestemt af den tomme Beholders træge Masse. Men hvorledes gaar det nu til, at der kræves en større Kraft, saa at man altsaa mærker en større Masse, naar Beholderen indeholder Luft? Det ligger i, at medens Luftmolekylernes Stød paa de modsatte Vægge er lige stærke, naar Beholderen hviler eller har jævn Hastighed, bliver Stødene i den accelererede Beholder lidt stærkere paa den venstre Væg end paa den højre, thi det stødende Molekyle har nu ikke forud faaet meddelt den Hastighed, Væggen har i Stødøjeblikket, men kun den Hastighed, som Beholderen havde, da Molekylet sidst stødte mod en Væg. Heri er der endnu intet nyt. Men varmes Kassen op, saa at Luftmolekylernes Energi forøges, skal efter Einstein ogsaa Massen blive større; det vil man imidlertid ogsaa finde, naar Stødene ikke behandles efter den klassiske Mekanik, men efter Relativitetsmekaniken. Og indeholder Kassen Straaling i Stedet for Luft, altsaa Energi, som man ikke hidtil har tilskrevet Masse, faas dens Masse frem paa lignende Maade, idet Straaling som bekendt udøver et Tryk

Digitized by Google

paa enhver Væg, den rammer, og dette Tryk efter Relativitetsteorien ogsaa vil findes større paa den venstre Væg end paa den højre.

Udover disse Eksempler kan vi ikke her gaa nærmere ind paa det specielle Relativitetsprincips Resultater. Paa de faa Punkter, hvor de hidtil har kunnet prøves ved Erfaringen, er de bleven bekræftet, og det er sikkert i Øjeblikket den almindelige Opfattelse, at det som fysisk Teori, saaledes som det ovenfor blev formuleret, har fuld Gyldighed. Angaaende det erkendelsesteoretiske Indhold, der af mange af dets Tilhængere lægges i det, hersker der derimod langtfra Enighed, men herom vil det være tilstrækkeligt at henvise til den følgende Artikel af Hr. Helge Holst. Endnu maa vi dog, før vi kan gaa over til det almindelige Relativitetsprincip, omtale den overordentlige Simplificering af alle Relativitetsteoriens Regninger, som Minkowski har opnaaet ved at opfatte Tiden som en fjerde Koordinat ganske sidestillet med de 3 Rumkoordinater. Naar han siger, at vi lever i en 4-dimensional Rum-Tidsmangfoldighed, er det kun Udtryk for den Kendsgerning, at ingen kan iagttage et Tidspunkt uden paa et bestemt Sted eller et Sted uden til et bestemt Tidspunkt; man behøver ikke at lægge et revolutionerende erkendelsesteoretisk Indhold deri. Men den matematiske Simplificering, som det betyder, har været af den allerstørste Betydning især for Udviklingen af det almindelige Relativitetsprincip. Et Punkt med Koordinaterne x, y, z og t i den 4-dimensionale Mangfoldighed betyder en Begivenhed, en i Punktet (x, y, z) til Tiden t stedfindende Begivenhed; Minkowski kalder det et Verdenspunkt. Kender man en Partikels Bane, altsaa dens Koordinater x, y og z som Funktioner af t, bestemmer disse 3 Ligninger en Kurve i den 4-dimensionale Mangfoldighed, Partiklens Verdenslinie, der for jævn Bevægelse bliver en ret Linie. Et Par Eksempler vil oplyse om Nytten af denne Betragtningsmaade. Vi betragter foreløbig en Partikel bundet til en Plan, saa at dens Plads er bestemt ved to Rumkoordinater x og y; vi har da den tredie Koordinatakse disponibel til t-Akse. Ligger Partiklen stille i Punktet (x, y), bliver dens Verdenslinie en ret Linie parallel med t-Aksen, idet den for alle Værdier af t har Koordinaterne x og y. Udfører Partiklen en jævn retlinet Bevægelse i xy-Planen, bliver dens Verdenslinie en vilkaarlig anden ret Linie, hvis Hældning mod t-Aksen bestemmer Hastigheden. En Partikel, der udfører en Cirkelbevægelse i Planen, afbildes ved en Skruelinie, en Partikel, der udfører en lineær

Digitized by Google

harmonisk Svingning i Planen, afbildes ved en Sinuskurve o. s. v. Denne Fremstilling giver altsaa meget mere end en simpel Banefremstilling, den afbilder Bevægelsen helt, saa at man direkte ser, hvor Partiklen er til enhver Tid, kan finde dens Hastighed ved Tangentens Retning o. s. v. Den sædvanlige Banefremstilling udtrykker kun en enkelt Side ved Bevægelsen, dens »Projektion« paa xy-Planen. Gaar vi nu over til almindelig rumlig Bevægelse, kan vi naturligvis ikke mere tegne, da det er umuligt at anskue 4 Dimensioner, men det volder ingen Vanskeligheder at regne med dem, saa at Forholdet iøvrigt er ganske analogt.

Det er dog mere praktisk ikke at bruge selve Tiden t som 4. Kordinat, men den dermed proportionale Størrelse $u = \sqrt{-1}\, ct$. Lorentztransformationen byggede paa Lyshastighedens Konstans, saa at man for to Koordinatsystemer, der bevæger sig jævnt i Forhold til hinanden, skal have $x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c'^2t'^2$. Da Transformationsligningerne skal være lineære, maa vi ogsaa have, at $dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2dt^2$ skal være invariant ved Transformationen. Indføres her u i Stedet for t, faas at $dx^2 + dy^2 + dz^2 + du^2$ skal være invariant, og dette Udtryk har samme Form som det almindelige 3-dimensionale Længdeelements Kvadrat. Derfor indfører Minkowski dette Udtryk som Kvadratet paa Længdeelementet i den 4-dimensionale Mangfoldighed.

Det almindelige Relativitetsprincip. Det specielle Relativitetsprincip kræver, som foran berørt, en Ændring af Newtons Mekanik, hvis Udtryk ikke er invariante over for Lorentz-Transformationen; dermed omstødes ogsaa Mekanikens Relativitetssætning, men det, der sættes i Stedet derfor, betyder kun en Udvidelse ud over hele Fysiken af den Relativitetssætning, som Newtons Mekanik havde ført til for den Del af Fysiken, som den mentes at omfatte. De Koordinatsystemer, som efter begge Relativitetssætningerne er ligestillede, naar de bevæger sig jævnt retlinet i Forhold til hverandre, er Inertialsystemer, altsaa ikke accelererede Systemer, f. Eks. roterende. I et roterende Legeme optræder Centrifugalkræfter, som efter Newtons Opfattelse tillader at fastslaa Rotationen absolut, at adskille den fra Ikke-Rotation, saa at der i Newtons Mekanik alligevel optræder en Art absolut Rum, hvori man vel ikke kan tale om faste Punkter, der kunde bruges til Definition af absolut Hvile og Translation, men derimod om faste Retninger, der kan definere absolut Ro-

Digitized by Google

tation. At dette Grundlag, hvorpaa Mekaniken hidtil har været opbygget, er ganske uforstaaeligt og utilfredsstillende, er især bleven fremhævet af den bekendte Fysiker og Filosof Mach. Hans Indvendinger belyses af Einstein ved følgende Eksempel:

Vi tænker os to ensartede flydende Legemer, to Kloder, S_1 og S_2, saa langt fra hinanden og fra alle andre Legemer i Verden, at den gensidige Tiltrækning ingen Betydning har. Hver af dem roterer i Forhold til den anden med konstant Vinkelhastighed i modsat Retning om deres Forbindelseslinie. Beboerne af de to Kloder finder nu ved Udmaaling, at S_1 er en Kugle og S_2 en fladtrykt Rotationsellipsoide. Spørger man, hvorledes denne Forskel skal forklares, vil Newtons Mekanik sige: S_1 hviler, men S_2 roterer i Forhold til det absolutte eller »berettigede« Rum. Men denne Forklaring, der ikke fører Forskellen mellem S_1 og S_2 tilbage til noget iagttageligt som Aarsag, men indfører Bevægelser i Forhold til det absolutte Rum som fingeret Aarsag, er ikke tilfredsstillende. Da der ikke i S_1 og S_2 kan ses nogen Grund til den fundne Forskel, maa en tilfredsstillende Forklaring søge Aarsagen uden for Systemet i de fjerne Masser og deres Bevægelser i Forhold til S_1 og S_2; de Newtonske Bevægelseslove kan da kun være en Tilnærmelse til de virkelige Bevægelseslove, der maa være saadan beskafne, at det dog ikke har været tilladeligt at se bort fra disse fjerne Masser. Konsekvensen af et saadant Standpunkt er, at inden for Fysiken maa enhver Tale om et absolut Rum udmærket frem for andre ophøre, saa at man maa prøve paa at udvide Relativitetsfordringen, maa undersøge, om Fysikens Love ikke skulde være saaledes beskafne, at de gælder i Forhold til alle vilkaarligt bevægede Koordinatsystemer, altsaa accelererede (specielt roterende) lige saa godt som jævnt bevægede. Dersom dette viser sig at være Tilfældet, vil det tillige betyde en overordentlig Simplificering og Afrunding af Fysikens Grundlag.

Til et saadant erkendelsesteoretisk Argument for at udvide Relativitetsfordringen føjer Einstein et meget vigtigt fysisk Argument. I den Anledning vender vi tilbage til den roterende fladtrykte Klode S_2, som vi nu kan tænke os som vor egen Jord. Vi kan altsaa ikke længere slaa os til Ro med at sige med Newton, at Jorden er fladtrykt, og at der optræder Centrifugalkræfter o. s. v. paa den, fordi den roterer; Relativitetsfordringens Udvidelse kræver, at Fladtrykningen o. s. v. skal være en Virkning fra Resten af Himmellegemerne,

Digitized by Google

saa at Jorden er fladtrykt, fordi den roterer i Forhold til dem eller de i Forhold til den. Det ligger da nær at tænke sig, at det maa være Gravitationsvirkningerne fra Himmellegemerne paa Jorden, som under den relative Rotation frembringer Fladtrykningen og i det hele taget ved enhver Acceleration foraarsager Trægheds virkningerne, og den vægtige Grund derfor, som Einstein anfører, er den simple Kendsgerning, at det for ethvert Legeme er en og samme Konstant, nemlig dets Masse, der er bestemmende baade for Gravitationsvirkningen paa det og for dets Træghed, eller som han udtrykker det, at den tunge og den træge Masse er den samme. At det er Tilfældet, viste allerede Newton ved at vise, at alle Legemer falder lige hurtigt*), og vi benytter os af det, hver Gang vi finder et Legemes Masse ved at veje det. Men der er næppe tænkt nærmere derover før af Einstein; for Newton var det en ren Tilfældighed, og først nu, efter at man er gjort opmærksom derpaa, ser man klart, at det ikke kan være en Tilfældighed, men maa være Udtryk for en fundamental Kendsgerning. Naar det saaledes er rimeligt, at Gravitationsvirkningerne fra Kloderne i Rummet kan være bestemmende for Trægheds kræfterne ved enhver Acceleration (for »Inertien«), følger deraf, at en almindelig Relativitetsteori tillige bliver en Gravitationsteori, hvad der i høj Grad maa forøge dens Interesse, naar man betænker, hvor haardnakket Gravitationen hidtil har modstaaet ethvert Forklaringsforsøg.

Einstein har nærmere anskueliggjort Sammenhængen mellem Gravitation og Træghed ved sin berømte »Kasse«, et lukket Værelse, hvori der befinder sig en Iagttager med fysiske Apparater, og som er anbragt saa langt fra al Verdensrummets Masse, at Inertiens Lov gælder derinde. Iagttageren mærker dér ingen Tyngde, saa at han maa binde sig fast, hvis han ikke skal svæve ved det letteste Stød mod Gulvet. I Kassens Loft er befæstet en Krog med en Snor, hvori et eller andet Væsen begynder at trække med en konstant Kraft, saa at Kassen bevæger sig med konstant Acceleration. Hvordan mærker nu Iagttageren inde i Kassen det? For at Kassens Acceleration kan overføres til ham, maa han modtage et Tryk fra og altsaa ogsaa udøve et Tryk paa Gulvet, saa at han staar der ganske som i et

*) Nylig har Ungareren *Eötvös* for flere Stoffer (Messing, Glas, Kork osv.) vist, at Forskellen mellem deres tunge og træge Masse højest kan være $\frac{1}{20 \cdot 10^6}$.

Digitized by Google

Værelse paa Jorden. Slipper han et Legeme ud af sin Haand, faar dette ikke længere Kassens Acceleration overført, saa at han vil se det falde med konstant Acceleration, og han vil finde den samme Acceleration for alle Legemer, som han slipper, nemlig Kassens. Han maa da tro, at han befinder sig i et konstant Tyngdefelt. Maaske vil han undre sig over, at Kassen ikke ogsaa falder, men naar han opdager Snoren i Loftet, er han klar over, at Kassen er ophængt i Tyngdefeltet. Det er altsaa umuligt for ham at skelne mellem de to Muligheder, at Kassen bevæger sig med konstant Acceleration, eller at Kassen hviler i et homogent Tyngdefelt, og Grunden dertil er netop den Omstændighed, at tung og træg Masse er ens, eller at alle Legemer falder lige hurtigt i et Tyngdefelt.

Paa et saadant Grundlag opstillede Einstein sit Ækvivalensprincip, der postulerer, at i alle Tilfælde, hvor man af optrædende Træghedskræfter hidtil har sluttet sig til, at det System, hvorfra man iagttog, var accelereret, kan man med lige saa megen Ret sige, at de iagttagne Fænomener finder Sted i et Gravitationsfelt. Her træffer vi altsaa en ny Anvendelse af Einsteins særlige frugtbare Arbejdsmetode, Opstillingen af dette Ækvivalensprincip paa Grundlag af Iagttagelser og Overvejelser, der gør det meget sandsynligt, og derefter Forfølgelsen af dets Konsekvenser til saadanne, der kan prøves, for derigennem endeligt at godtgøre dets Rigtighed. Og netop her er der allerede leveret det stærkeste Bevis, ved at engelske Astronomer under den sidste totale Solformørkelse fandt, at en Lysstraale, der passerer tæt forbi Solen, krummes ind mod denne, og fandt netop den Værdi af Krumningen, som Einstein havde forudsagt. Sammenhængen hermed kan kort fremstilles paa følgende Maade. Naar en Lysstraale passerer f. Eks. tværs gennem den før betragtede Kasse, der var anbragt langt fra al anden Masse, er der ikke Tvivl om, at Iagttageren vil finde dens Bane retlinet, saa længe Kassen ikke er accelereret. Men naar Kassen accelereres, maa han da finde, at Lysstraalens Bane bliver krum ganske som et Projektils, blot bliver Banen naturligvis overordentlig meget fladere paa Grund af Lysets meget større Hastighed. Heraf slutter han da, at en Lysstraale paavirkes af et Tyngdefelt, hvad der stemmer med, at Lysstraalen repræsenterer Energi, hvilket jo vilde sige træg Masse og altsaa, efter hvad vi nu ved, ogsaa tung Masse. Lysenergi falder altsaa i et Tyngdefelt, ganske som al anden Masse gør det. Imidlertid er Lysets Hastig-

Digitized by Google

hed saa stor, at Lysstraalernes Krumning i Jordens forholdsvis svage Tyngdefelt ikke kan paavises; derimod vil en Lysstraale, der passerer tæt forbi Solen og altsaa kommer fra en Stjerne, der staar omtrent i Retning af Solens Rand, faa en Afbøjning paa 1″,75*), saa at en saadan Stjerne vil ses forskudt 1″,75 bort fra sin sædvanlige Plads i Retning bort fra Solens Centrum. Denne Konsekvens, der jo kun kan prøves under en total Solformørkelse, fordi man ellers ikke kan se eller fotografere Stjerner saa tæt ved Solen, var det, der blev bekræftet i 1919 ved to engelske astronomiske Ekspeditioner. Den ene til Sobral fandt en Forskydning paa 1″,98, den anden til Principe fandt 1″,64**). En Straale, der passerer tæt forbi Jupiter, vil afbøjes 0″,02, der maaske endnu netop vil kunne paavises heliometrisk.

Den Fremgangsmaade, der her lærte os et Tyngdefelts Indflydelse paa Lysforplantningen, tillader os at finde dets Indflydelse paa ethvert fysisk Fænomen, hvis Forløb i et Inertialsystem er kendt, idet vi derudfra ved simple Regninger finder dets Forløb i et accelereret Koordinatsystem, der jo er ækvivalent med et Tyngdefelt; vi »fremkalder« altsaa Tyngdefeltet ved den Koordinattransformation, der fører os over i det accelererede System. Heri ligger Muligheden for at komme til en Gravitationsteori. Det maa dog bemærkes, at det ikke er muligt at fremkalde alle Tyngdefelter og altsaa omvendt heller ikke muligt at opfatte alle Tyngdefelter som kun tilsyneladende. Jordens Tyngdefelt f. Eks. kan ikke erstattes af et accelereret Koordinatsystem. Man maa da gøre den Antagelse, at de Love, der findes for de kunstigt fremkaldte Tyngdefelter, ogsaa gælder for de Felter, der ikke lader sig fremkalde ved en Koordinatændring.

Følgen af, at det nu er paavist, at en Lysstraale krummes i et Tyngdefelt, saa at Lysets Hastighed ikke er konstant, men afhænger

*) Man kommer ikke til den rigtige, af Einstein forud angivne Talværdi alene ud fra Ækvivalensprincipet, Beregningen forudsætter den fuldstændige almindelige Relativitetsteori. Overensstemmelsen med Virkeligheden er derfor en Støtte for den almindelige Relativitetsteori, ikke alene for Ækvivalensprincipet.

**) Nogle har indvendt, at en saadan Afbøjning kunde skyldes Solens Atmosfære eller muligvis Refraktion i Jordens Atmosfære under de abnorme Temperaturforhold under en total Solformørkelse. Alle disse Indvendinger er udførligt diskuterede og tilbagevist bl. a. i »Nature«. En Solatmosfære, der skulde kunne frembringe den fundne Afbøjning, skulde være saa tæt, at man ikke vilde kunne se Stjernen.

Digitized by Google

af det paa Stedet herskende Felt, er, at det specielle Relativitetsprincip, der forudsatte Lyshastighedens Konstans, er et Grænsetilfælde, der kun gælder, for saa vidt man kan se bort fra Tyngdens Indflydelse, altsaa f. Eks. kun kan gælde med Tilnærmelse paa Jorden, omend naturligvis med overordentlig stor Tilnærmelse.

Vi vender os nu til Hovedsagen, Spørgsmaalet om den udvidede Relativitetsfordring kan tilfredsstilles, altsaa om Naturlovene virkelig er saaledes beskafne, at man kommer til de samme Udtryk for dem, hvadenten man ser Fænomenerne f. Eks. fra Solen eller fra en Gynge eller Karussel her paa Jorden og altsaa betragter disse som hvilende i Stedet for Solen. Hvilke Ændringer skal de hidtidige Naturlove, som i saa Fald kun kan være Tilnærmelser, da undergaa? At New-

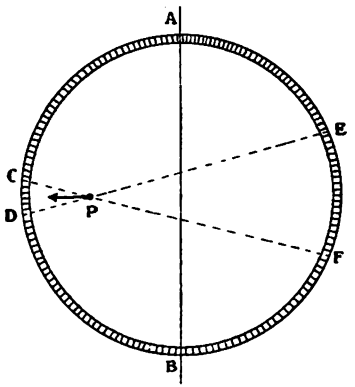


Fig. 1.

tons Mekanik maa ændres, er allerede paavist; Relativitetsfordringen kræver, at der ogsaa opstaar Centrifugalkræfter i et hvilende Legeme, ved at der uden om det roterer andre Masser, og dette fører den hidtidige Mekanik jo ikke til.

Hvordan det gaar til, at der i et saadant Tilfælde opstaar Centrifugalkræfter, kan forøvrigt oplyses ved et simpelt Eksempel. Lad det hvilende Legeme, Partiklen *P*, være anbragt excentrisk i en stor Kugleskal, jævnt belagt med Masse. Naar denne ogsaa hviler, er *P* som bekendt i Ligevægt overalt inde i den, thi Massetiltrækningerne fra f. Eks. *CD* og *EF* ophæver netop hinanden efter Newtons Tiltrækningslov. Men naar Kugleskallen roterer om Aksen *AB*, vokser dens Masse paa Grund af Bevægelsen efter det specielle Relativitets-

Digitized by Google

princip (S. 44) og desto mere, jo større Hastigheden er, altsaa mest i Ækvatorialplanen. Dette betyder, at Massen i *CD* forøges forholdvis stærkere end i *EF*, saa at der nu opstaar en Overskudstiltrækning, en Kraft i Pilens Retning paa *P*, altsaa netop en Centrifugalkraft. Det er forøvrigt en gammel Tanke, at roterende Masser kunde tænkes at frembringe Centrifugalkræfter i Legemer, der hviler inden for dem, og man har foreslaaet at prøve det eksperimentelt. Men Paavisningen vil strande paa, at de Masser, der kan være Tale om at sætte i Rotation her paa Jorden, er for smaa. —

Som Udgangspunkt antager Einstein, at det specielle Relativitetsprincip gælder, hvor der intet Tyngdefelt hersker. Skal da det almindelige Relativitetspostulat kunne gennemføres, kan man ikke bruge sædvanlige Koordinater og definere Tiden paa sædvanlig Maade i et Tyngdefelt, saa at Euclids Geometri ikke kan gælde i et saadant. Dette kan ses ved at betragte et simpelt Eksempel, en stor cirkulær Skive, der roterer jævnt, og hvis Periferi og Radius udmaales baade af en Iagttager *A* ,der deltager i Rotationen, og af en Iagttager *B*, der staar udenfor. *B* vil naturligvis finde Forholdet mellem Periferi og Radius til 2π, men *A* maa finde et Tal, der er større end 2π, thi naar han udmaaler Periferien, er hans Enhedsmaalestok forkortet efter det specielle Relativitetsprincips Resultater (S. 44), men derimod ikke, naar han udmaaler Radius, da Maalestokken nu ligger tværs paa Bevægelsesretningen. Han vil imidlertid sætte Enhedsmaalestokkens Længde $= 1$ i begge Stillinger, da han er berettiget til at tro sig hvilende, hvis et almindeligt Relativitetsprincip skal være gyldigt. Ganske vist mærker han Centrifugalkræfter, men dem tolker han i saa Fald som Gravitationsvirkninger. Endvidere vil to Ure, hvoraf det ene er anbragt i Centrum, det andet i et Punkt af Periferien, ikke gaa ens; *B* vil efter det specielle Relativitetsprincip finde, at det sidste gaar langsommere end det første, og det samme maa da *A* finde. I et Tyngdefelt kan altsaa den sædvanlige Maade at udmaale Rum og Tid paa med en Enhedsmaalestok og et Normalur ikke bruges, saa at man ikke kan bruge sædvanlige Koordinater, og da en enkelt anden bedre Metode til Udmaalingen ikke kan angives, er den eneste Udvej, som Einstein har set, den at alle tænkelige Koordinatsystemer maa være lige gode, naar de kun er entydige og kontinuerte. Han formulerer derfor det almindelige Relativitetspostulat saaledes: **De almindelige Naturlove maa udtrykkes ved Lig-**

Digitized by Google

ninger, der gælder for alle Koordinatsystemer eller matematisk udtrykt er kovariante over for alle tænkelige Koordinattransformationer. Konsekvensen af et almindeligt Relativitetsprincip er altsaa, at Rum og Tid ikke kan have nogensomhelst Egenskaber uafhængige af de Ting, de indeholder, ikke engang selvstændige Maaleegenskaber, men disse maa paa ethvert Sted afhænge af det dér herskende Tyngdefelt og altsaa variere med dette.

At der kan være Mening i at opstille en saa vidtgaaende Relativitetsfordring, og at den kan gennemføres, ligger nu i, at alle fysiske Iagttagelser eller Maalinger i sidste Instans kun er Iagttagelse af Koincidenser, Konstatering af at to eller flere Punkter samtidig befinder sig paa samme Sted. Skal der maales en Længde, konstaterer man, at Endepunkterne af det, der skal maales, falder sammen med to bestemte Punkter paa Maalestokken, og noget tilsvarende gælder for al anden Maaling; i alle Tilfælde konstateres, at en Viser, en Vædskeoverflade el. l. falder sammen med et bestemt Punkt paa Skalaen. Iagttagelse af en Bevægelse er Konstatering af en Række Koincidenser af det bevægede Legeme med bestemte Punkter af Omgivelserne, samtidig med at Viseren paa et Ur anbragt paa de paagældende Steder koinciderer med bestemte Punkter af Urskiven og saaledes i alle Tilfælde. Hele Fysiken kan siges at være den Samling Love, hvorefter disse tidsrumlige Koincidenser finder Sted. I et Koordinatsystem, som vi nu for Simpelheds Skyld stadig tænker os 4-dimensionalt med Tiden eller en dermed proportional Størrelse som 4. Koordinat, viser en Koincidens mellem to Begivenheder sig ved, at disse har sammenfaldende Værdier for alle 4 Koordinater. Hvordan nu end dette Koordinatsystem transformeres, naar det kun sker saaledes, at Entydighed og Kontinuitet bevares, vil naturligvis ogsaa disse Begivenheders nye Koordinater have sammenfaldende Værdier, saa at der ogsaa er Koincidens i det nye transformerede Koordinatsystem. Der sker altsaa ganske det samme i det nye vilkaarlige Koordinatsystem som i det oprindelige.

De almindeligste Koordinater, der kan være Tale om at benytte, er Gauss' Koordinater. Paa en vilkaarlig Plade tænkes lagt to uendelige Skarer af vilkaarlige Kurver, hver bestemt ved sin Parameter, og saaledes at der gennem hvert Punkt af Fladen gaar een og kun een Kurve af hver af de to Skarer. Ethvert Punkt paa Fladen er da bestemt ved to saadanne Parametre, en af hver Art, nemlig

Digitized by Google

som Skæringspunktet for de to derved bestemte Kurver; disse to Parametre er da Punktets Gauss'ske Koordinater paa den givne Flade. Almindelige cartesiske Koordinater i Planen er et specielt Tilfælde af Gauss'ske Koordinater, idet Kurveskarerne er rette Linier parallele med to paa hinanden vinkelrette Linier, Koordinatakserne. Naar Anvendelsen af Gauss'ske Koordinater udvides til den 4-dimensionale Rum-Tidsmangfoldighed, bliver ethvert Punkt, som i det sædvanlige Rum-Tidssystem var bestemt ved Koordinaterne x, y, z og $u = ict$ (altsaa en i Punktet (x, y, z) til Tiden t stedfindende Begivenhed), nu bestemt ved 4 Parametre for 4 3-dimensionale Flader, nemlig som disses Skæringspunkt. Men i et saadant almindeligt Gauss-System kan man ikke ved Maaling finde disse 4 Koordinater, som man kan det i det sædvanlige System, Koordinaterne er kun rene Parametre.

Den videre Fremgangsmaade kan nu kun antydes. Udgangspunktet er som nævnt for at bevare Kontinuiteten med den gamle Fysik, at i uendelig smaa Omraader (der derfor godt kan være meget store i Forhold til de almindelige i Fysiken forekommende Dimensioner) gælder det specielle Relativitetsprincip i et Koordinatsystem, hvori de betragtede Legemer ikke er accelererede; der kan man altsaa maale Længde og Tid paa sædvanlig Maade eller bruge Euclids Geometri. I et saadant Koordinatsystem betragter vi to Punkter A og B (to Begivenheder) med Koordinatdifferenserne $dx_1 .. dx_4$, idet vi nu benævner Koordinaterne $x_1 .. x_4$ i Stedet for x, y, z, u; Afstanden mellem disse Begivenheder, der altsaa kan være rumlig eller Afstand i Tid og i Almindelighed er begge Dele samtidig, men som i hvert Fald kan maales med Maalestokke og Ure, betegnes med ds. Man har da $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$. Nu transformeres til et vilkaarligt Koordinatsystem $X_1 .. X_4$; derved bliver Afstanden ds uforandret, men den udtrykkes i de nye Koordinater ved et kompliceret Udtryk $dS^2 = g_{11} dX_1^2 + .. + g_{44} dX_4^2 + 2g_{12} dX_1 dX_2 + ..$, hvor ialt 10 uafhængige Koefficienter g indgaar. En saadan Transformation betyder, at de to Begivenheder nu betragtes fra et Koordinatsystem, der har en vilkaarlig Acceleration, men dette er efter Ækvivalensprincipet ensbetydende med, at der i det hersker et vilkaarligt Gravitationsfelt. I vort Udgangssystem gælder Inertiens Lov, saa at et til sig selv overladt Legeme vil bevæge sig jævnt retlinet, eller sagt i Minkowskis Sprog dets Verdenslinie er en 4-dimensional ret Linie med Linieelementet ds. I det nye System er Banen ikke mere ret-

Digitized by Google

linet, men har Linieelementet dS; Grunden til at Banen nu er krumlinet, er Gravitationsfeltet, og dette maa derfor være bestemt af de 10 Koefficienter g, der erstatter Newtons Teoris eneste Gravitationspotential. Da Verdenslinien var en korteste eller geodætisk Linie i det oprindelige System, er den det ogsaa i det transformerede, idet denne Egenskab bevares uafhængig af Transformationen; den Lov, som Einstein sætter i Spidsen for Mekaniken i Stedet for Newtons Inertilov og Tiltrækningslov, og hvorved Relativitetsfordringen tilfredsstilles, bliver da, at ethvert Massepunkt følger under Indflydelse af Gravitation og Træghed de geodætiske Linier i Rum-Tidsmangfoldigheden.

Hvorledes Koefficienterne g findes, maa forbigaas; de bestemmes ved det, der frembringer Tyngdefeltet, altsaa ved Masserne eller rettere Energien i Rummet. Bestemmelsen indeholder næppe anden Vilkaarlighed, end at Differentialudtrykkene til Bestemmelse af g'erne skal være af 2. Orden, i Analogi med at Laplace-Poissons Ligning til Bestemmelse af det sædvanlige Potential ved Massetætheden er af 2. Orden.

Den Teori, Einstein har opbygget paa dette almindeligst mulige Grundlag, kun byggende paa den almindelige Relativitetsfordring, Ækvivalensprincipet og Antagelsen af det specielle Relativitetsprincips Gyldighed under specielle Forhold, og iøvrigt med et Minimum af Vilkaarlighed, fører nu virkelig i første Tilnærmelse til Newtons Tiltrækningslov; dersom den ikke gjorde det, var den ganske vist ogsaa straks omstødt, da Newtons Lov i hvert Fald er en overordentlig god Tilnærmelse til Sandheden, men at denne har kunnet udledes paa et saa almindeligt Grundlag er allerede meget overraskende og belydningsfuldt. Langt vigtigere er det imidlertid, at i næste Tilnærmelse forklarer den netop den Perihelbevægelse (Drejning af Banens Storakse i Omløbsretningen) for Merkur paa ca. 43″ pr. Aarhundrede, der var det eneste hidtil kendte Fænomen, som Newtons Teori ikke kunde forklare; nu vil vi hellere udtrykke det saaledes, at Merkurs Perihelbevægelse er det eneste Fænomen, overfor hvilket Astronomiens Nøjagtighed hidtil har været stor nok til at konstatere, at Newtons Teori kun er en Tilnærmelse*). Dette Resultat kunde Einstein straks

*) Venusbanen er omtrent cirkulær, saa at dens Perihel er daarligt bestemt, og for Jorden er Virkningen allerede umærkelig.

Digitized by Google

pege paa, og siden er den rigtigt forudsagte Lysstraalekrumning ved Solen kommen til. Ved Teoriens Fremkomst henviste Einstein endnu til en tredje Virkning, der maatte kunne føre til en Afgørelse for eller imod Teorien. Man maa nemlig vente, at Bølgebredden af Spektrallinier i Solens eller Fiksstjernernes Spektre maa være lidt større end for de samme Linier, naar de frembringes her paa Jorden, da man kan opfatte den lysudsendende Elektron som et Ur, som skal gaa noget langsommere, naar det befinder sig i et stærkt Gravitationsfelt. Om denne Virknings Eksistens hersker der endnu ikke Enighed; Arbejder fra den sidste Tid tyder paa, at der mærkes en saadan Virkning i de klareste og derfor sandsynligvis tungeste Stjerners Spektre. For Solspektret er den i hvert Fald endnu ikke sikkert paavist; her skulde Ændringen i Bølgebredde i den violette Del af Spektret være ca. 0.008 Å. E., men Usikkerheden angaaende de Betingelser, hvorunder de Fraunhoferske Linier dannes (Tryk, Temperatur o. s. v.) gør en sikker Paavisning af saa smaa Ændringer meget vanskelig. Nogle engelske Forskere har forøvrigt ment, at Teorien slet ikke kræver denne Virkning. Selv om altsaa dette Spørgsmaal endnu maa siges at være aabent, har Erfaringen dog givet Einsteins Teori en meget stærk Støtte og endnu intet frembudt, der strider mod den. Om end den naturligvis ikke kan være det sidste Ord i disse Spørgsmaals Udvikling — den er jo en udpræget formel, fænomenologisk Teori, der lige saa lidt som Newtons giver nogen Forklaring af Gravitationen —, tør man vel derfor med Sikkerhed hævde, at Vejen ikke mere kan gaa tilbage til Newtons Teori, men at der er naaet et saa afgørende principielt Fremskridt, at det er berettiget at nævne Einstein ved Siden af Mænd som Kopernikus og Newton.

Nærværende korte Fremstilling af Einsteins Teori har saa vidt muligt undgaaet at berøre den erkendelsesteoretiske Side af Teorien. Om denne hersker der som nævnt langtfra Enighed. Hensigten med Fremstillingen har væsentlig været at give de Læsere, der ikke har haft Lejlighed til selv at beskæftige sig nærmere med Einsteins Arbejder, nogle Forudsætninger for at tilegne sig det betydningsfulde Bidrag til Udviklingen af Teoriens erkendelsesteoretiske Side, som skyldes Hr. Helge Holst, og som han redegør for i den følgende Artikel.

Digitized by Google

Einsteins Relativitetsteori og vor Rum- og Tidsopfattelse.

Af Helge Holst.

Som bekendt vil Iagttagere, der er i Hvile i hver sit af de forskellige relativt til hverandre jævnt og retliniet bevægede Koordinatsystemer, hvormed man har at gøre i den specielle Relativitetsteori, efter dennes Regler dømme forskelligt om Samtidighed og Ligestorhed. De vil med andre Ord indordne det iagttagne forskelligt efter Tid og Rum. Idet nu de forskellige Koordinatsystemer anses for ligestillede, skulde det Maal at indordne Fænomenerne entydigt, d. v. s. i et for alle Iagttagere gældende Verdensbillede være uden Rod i Virkeligheden. Det skulde være et falsk Ideal, som havde sit Udspring i urigtige Forestillinger om Rummets og Tidens rette Stilling i vor Bevidsthed. Utvivlsomt er en saadan Opfattelse af Relativitetsteoriens Væsen almindelig udbredt, og er den rigtig, kan man med Rette sige, at Teorien kræver en Revolution af vor hidtidige Rum- og Tidsopfattelse. I nær Forbindelse hermed staar det, at den ikke synes at opfylde de sædvanlige kausale Krav. Dette er tidligere fremhævet her i Tidsskriftet af Professor K. Kroman, der bl. a. af denne Grund gik mod Teorien. Som Eksempel paa at ogsaa Tilhængere af Relativitetsteorien erkender, at der er en Mangel paa kausal Sammenhæng, kan anføres en Udtalelse af J. Petzoldt, der ligefrem siger, at Teorien kaster Aarsagsbegrebet over Bord, (»Ber. der Deutschen Physikal. Ges.«, 1918, S. 189). Det er da ogsaa indlysende, at man ikke kan betragte Bevægelserne relativt til Iagttageren og hans Koordinatsystem som fysiske Aarsager i Ordets sædvanlige Forstand til de derved bestemte Ændringer af Dimensioner og Perioder, som vi maa regne med i den specielle Relativitetsteori; thi Ændringerne er jo slet ikke afhængige af Iagttagerens fysiske Egenskaber; hans Masse kan være saa ringe, hans Afstand fra de paagældende Maalestokke, Ure o. a. saa stor, at han fysisk set maa betragtes som en *quantité negligeable*«. Skal nu de forskellige Koordinatsystemer anses for fysisk fuldkommen ligestillede, er det overhovedet umuligt at finde fysiske Aarsager til Ændringerne.

Uden at komme i Strid med det reelle, fænomenologiske i den

Digitized by Google

specielle Relativitetsteori, kan man nu ganske vist tilsyneladende redde den kausale Sammenhæng og entydige Indordning ved at holde sig til Æterteorien, idet man da betragter de paagældende Ændringer som kausalt bestemte ved Bevægelsen relativt til Æteren. De elektrodynamiske Antagelser, Lorentz i dette Øjemed har opstillet, er saa simple, at de i denne Henseende synes at tilfredsstille alle rimelige Fordringer. Men selv om Lorentz-Teorien rent formelt kunde redde Kausaliteten, syntes denne Redning i Realiteten ikke at være meget værd.

Hans Æterforklaring har paa den ene Side til Forudsætning, at et af de forskellige relativt til hverandre bevægede Systemer er udmærket fremfor de andre ved Hvile i Æteren; men paa den anden Side synes den principielt at udelukke ethvert iagttageligt Kendetegn paa Hvile eller Bevægelse i Æteren. Men hvis Æterteoriens Tilhængere indrømmer, at ingen af de forskellige Systemer er udmærket fremfor de andre ved noget iagttageligt, saa er det et uholdbart Standpunkt at ville basere en kausal Forklaring paa en Særstilling af et af dem. Thi kun, hvad der kan fremtræde for vor Iagttagelse, er reelt.

Det afgørende Spørgsmaal bliver da, om de forskellige Koordinatsystemer virkelig er fysisk ligestillede eller ej. Det er Kernen i Sagen. Paa Besvarelsen af dette Spørgsmaal beror det, om man kan hævde den kausale Opfattelse, og om det er principielt muligt at indordne alt entydigt i et Verdensbillede.

Utvivlsomt har mange af Relativitetsteoriens Tilhængere været for hurtige til at anse den Sag for afgjort uden ret at betænke Konsekvenserne af, at den oprindelige Relativitetsteori havde en meget speciel Karakter. De Koordinatsystemer, som ved den sættes ækvivalente eller ligestillede m. H. t. Beskrivelsen af de fysiske Fænomener, skal jo være, hvad Einstein kalder galileiske Henførelsessystemer, d. v. s. saadanne i hvilke Inertiens Lov gælder: vi vil i det følgende betegne dem som Inertialsystemer. Vi kan derfor ikke vente at naa til en virkelig Forstaaelse af Forholdene, saa længe vi ikke har Klarhed over Aarsagen til Inertialsystemernes Særstilling. Som det bl. a. blev fremhævet af Ernst Mach og senere af Einstein, savnedes Forklaringen af denne Særstilling i Newtons Mekanik.

Man slog sig her til Ro med det Faktum, at Newtons Love ikke gælder, naar Bevægelserne henføres til et jordisk, d. v. s. et

Digitized by Google

i Jorden fastlagt Koordinatsystem, men kun naar man henfører Bevægelserne til Koordinatsystemer, der er i »Rotationshvile« m. H. t. Fiksstjerneverdenen. Der er imidlertid god Grund til at spørge, hvorfor Fiksstjernekoordinatsystemet er saaledes udmærket fremfor det jordiske, hvorfor der gælder simple Love i det første, men ikke i det sidste?

Man kunde herpaa svare, at det jordiske Koordinatsystem drejer sig med Jorden, medens Fiksstjernekoordinatsystemet er i Hvile — eller i alt Fald ikke roterer — og at det er til det hvilende System, Bevægelsen skal henføres, da det ellers ikke er de virkelige Bevægelser, vi betragter; men skal man gøre Rede for, hvad man mener med at betegne Fiksstjernesystemet som hvilende og de dertil henførte Bevægelser som de virkelige, vil man komme i Forlegenhed.

Vi ser maaske klarest Vanskeligheden, naar vi tænker os, at vi alene havde været henvist til at betragte Bevægelserne her ved Jorden, f. Eks. fordi Jordkloden var omgivet af et Skylag, saa tæt, at det skjulte Sol, Maane og Stjerner for vore Øjne og endogsaa udviskede Forskellen mellem Dag og Nat fuldstændig. Gennem grundige fysiske Undersøgelser vilde det da kunne opdages, at man kun ved at henføre alle Bevægelser til et Liniesystem, der drejede sig fra Øst mod Vest en Gang rundt i en vis Periode (den, vi kalder Døgnet) kunde finde simple Love for de jordiske Legemers Bevægelser. Man vilde da maaske nok finde paa at betegne det som »hvilende« og bruge det Udtryk, at Jorden drejede sig fra Vest mod Øst en Gang i denne Periode. Men denne Drejning var ikke en Drejning i Forhold til nogensomhelst iagttagelige Legemer, men blot i Forhold til et tænkt Koordinatsystem, der er valgt saaledes, at vi i det faar simple Bevægelseslove. Idet de jordiske Legemers Bevægelser saaledes bestemmes ikke alene ved deres Forhold til andre Legemer, men ogsaa ved deres Forhold til et saadant Koordinatsystem, kan vi sige, at der jævnsides med de mekaniske Aarsager (Paavirkning fra andre Legemer) optræder en Aarsag af helt anden Art. Vilde man sige, at dette »udmærkede« Koordinatsystem — »det fysiske Hvilesystem« kan vi kalde det — er »hvilende i Rummet«, saa indfører man derved Bevægelse i Rummet eller »absolut Bevægelse« som bestemmende for de fysiske Processer; men naar »Rummet« blot opfattes som den uendelige »Beholder« for alt iagttageligt, men selv uden Vægge eller

Digitized by Google

Mærkepunkter af nogen Art, kan vi i Virkeligheden ikke forbinde nogen Mening med at henføre Bevægelser til det. — I Fig. 1 betegner XjYj et jordisk Koordinatssystem, XY Hvilesystemet.

Tænker vi os nu, at Skylaget forsvandt, eller at det ved særlige Instrumenter blev muligt at se igennem det, vilde det derved

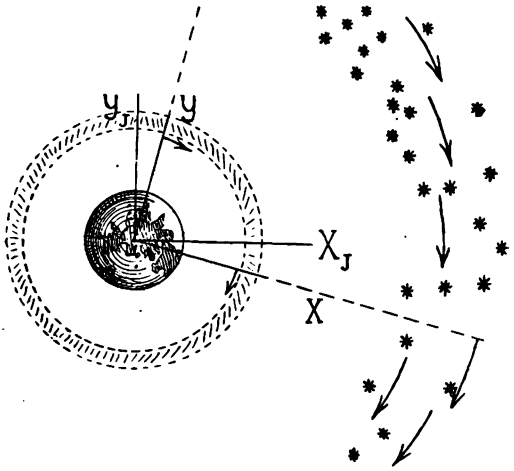


Fig. 1.

Xj Yj forestiller et Koordinatsystem, der er fast i Jordkloden, hvis Akse er den tredje Koordinatakse og maa tænkes at staa vinkelret paa Papirets Plan. X Y er et Koordinatsystem, som drejer sig fra Øst mod Vest i Forhold til Jorden og ligger fast i den af et Skyslør skjulte Stjerneverden.

opdages, at det fysiske Hvilesystem var i Hvile i Forhold til et mægtigt ydre System af materielle Legemer, Fiksstjerneverdenen.

Havde man slaaet sig til Ro med den Forestilling, at det fysiske Hvilesystem var i Hvile i Rummet, saa kunde man nu nøjes med at sige, at dette ogsaa gjaldt om Fiksstjerneverdenen. Saaledes opfattede Newton nærmest Sagen. Vi kan imidlertid komme bort fra denne Forestilling om absolut Hvile og Bevægelse, idet vi antager, at Fiksstjernerne ikke blot er Fyrlanterner, der afmærker Hvilesystemet for vore Øjne, men tillige de for Bevægelserne bestemmende mekaniske Aarsager, der gør det til det fysiske Hvilesystem. Dette er ikke en Strid om Ord, men et ganske reelt fysisk Spørgsmaal; thi i den sidstnævnte Opfattelse ligger, at Stjernerne véd deres Stofmængde, Stillinger og Bevægelser bestemmer det fysiske Hvilesystem. Det maa derfor forandre sig med Stjernernes

Digitized by Google

indbyrdes Bevægelser og være forskelligt paa forskellige Steder af Rummet. Og da Jordkloden er af samme Slags Stof som Fiksstjernerne, maa ogsaa dennes Bevægelse relativt til dem paavirke det fysiske Hvilesystem. Tænker vi os, at Jordkloden var alene i Rummet maatte den alene bestemme det. Det vilde da falde

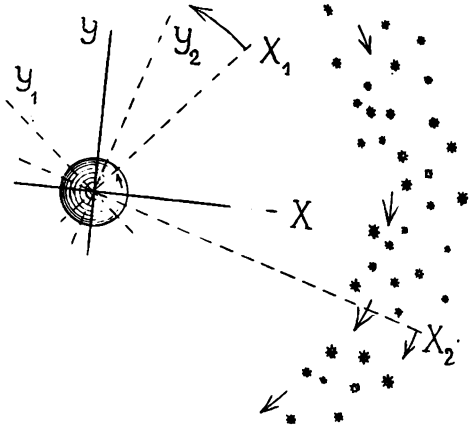


Fig. 2.

$X_1 Y_1$ skal betegne et i Jordkloden, $X_2 Y_2$ et i Fiksstjerneverdenen fast Koordinatssystem. De drejer sig som antydet ved Pilene hver sin Vej i Forhold til det ved Jord og Stjerner tilsammen bestemte fysiske Hvilesystem, der (for Egne nær Jordoverfladen) kan være repræsenteret ved Koordinatsystemet XY. — Bevægelsen af $X_2 Y_2$ er i Virkeligheden ganske umærkelig.

sammen med det jordiske Koordinatsystem; et frit faldende Legeme vilde da følge Lodlinjen. Tænker vi os, at vi kun havde Jorden og en Stjerneverden, hvis Komponenter var i Hvile indbyrdes, men i Forhold til hvilken Jorden roterede, saa kunde Hvilesystemet hverken være fast i Jorden eller i Stjerneverdenen. Vi maatte antage, at Forholdet var som symboliseret i Fig. 2. Her er XY Hvilekoordinatsystemet for Egne ved Jordens Overflade. Det er bestemt ved Jorden og Stjerneverdenen tilsammen. Jorden og det jordiske Koordinatsystem $X_1 Y_1$ drejer sig fra Vest mod Øst med en vis Vinkelhastighed φ_1, Stjerneverdenen og Fiksstjernekoordinatsystemet $X_2 Y_2$ drejer sig fra Øst mod Vest med en anden Vinkelhastighed φ_2. Det er klart, at vi ikke kan have samme Hvilesystem nær Jordoverfladen og langt ude i Rummet. Jo længere vi kommer ud, des ringere bliver Jordens Indflydelse, og des mindre drager den Hvilesystemet med sig.

Digitized by Google

Da vi kan bestemme Fiksstjernesystemet ved astronomiske Iagttagelser, Hvilesystemet ved Forsøg med Fald i Skakter o. s. v., er det aabenbart principielt muligt at undersøge, om de har en Bevægelse i Forhold til hinanden. Jordens Vinkelhastighed φ_1 i Forhold til det fysiske Hvilesystem er imidlertid næppe bestemt med større Nøjagtighed end 1 % el. lign., og der vilde utvivlsomt udkræves en mangfoldige Gange større Nøjagtighed til Konstatering af Forskellen mellem Hvilesystemet og Fiksstjernesystemet.

Hvad det her kommer an paa, er imidlertid blot, at vi gennem denne Opfattelse naar til at betragte Hvilesystemet ikke som noget absolut, men som bestemt ved principielt iagttagelige Legemers Stillinger og Bevægelser og saaledes gennemfører, hvad vi kunde kalde det kausale Relativitetskrav, nemlig det Krav, at kun iagttagelige Legemer (d. v. s. Rumpartier, der kan skelnes fra Omgivelserne) maa anses for Bærere af fysiske Aarsager. Allerede i Halvfemserne hævdede Mach med Styrke denne Opfattelse af Fiksstjernerne som de mekaniske Aarsager til Hvilesystemets Særstilling, dog uden at fordybe sig i Konsekvenserne. Senere har Einstein sluttet sig til Machs Syn, og han har yderligere som Argument for, at Kloderne i Rummet foruden at have almindelig Gravitationsvirkning ogsaa var bestemmende for Inertien, fremhævet det Forhold, at Gravitationskraften i Modsætning til andre Kræfter altid er proportional med Legemernes træge Masse.

Jeg tror imidlertid, det er nyttigt at se Sagen fra endnu en Side, idet vi søger at gøre os klart, hvad der egentlig ligger i Begreberne Stof, tomt Rum og Kraftfelt; derved vil der ogsaa kastes Lys over Æterproblemet.

Den Kendsgerning, at der i Rummet om en Stjerne eksisterer et Gravitationsfelt, blev tidligere opfattet paa en altfor tom matematisk Maade blot som et Udtryk for, at et Legeme her har en vis Acceleration mod Stjernen, bestemt ved Legemets Afstand fra den og ved Stjernens Masse. Men Rummet blev opfattet som »tomt«. Mange kunde dog ikke forlige sig med den Tanke, at en Klode saaledes kunde virke »paa Afstand«. De mente derfor, at der foruden Stjernen og Legemet maatte eksistere et ukendt Stof, et Medium, Æteren, der fyldte det ellers tomme Rum mellem dem og formidlede Afstandsvirkningen. Ganske anderledes opfattedes »Berøringskræfter«. Naar en Bold standsedes af en Væg, var Grunden den, at Bolden søgte at trænge ind i et »stoffyldt« Rum;

Digitized by Google

her krævedes ikke et særligt Medium til Forklaring. Denne Forestilling om ubegribelige Fjernkræfter, der kræver et særligt Medium til Forklaring, og mere begribelige Berøringskræfter er imidlertid baade erkendelsesteoretisk uholdbar og uden Rødder i Nutidens Fysik.

Det, hvori Bolden søger at trænge ind, er jo blot de ejendommelige Kraftfelter ganske tæt ved Atomerne og i deres Indre. Hvad vi kalder et Legeme eller et stoffyldt Rumparti, er kun et Rumparti med en Samling koncentrerede, stærkt varierende Kraftfelter; men Rummet mellem Klodernes Stofpartier er ligesaa vel udfyldt af Kraftpartier. Fysisk kan Forskellen udtrykkes derved, at vi i Stofpartierne har at gøre med elektriske Felter, idet Atomkerner og Elektroner hver for sig kan gøre deres Indflydelse gældende, medens vi udenfor Stofpartierne har, hvad jeg vil kalde »Neutralfelter«, hvor deres Indflydelse er smeltet sammen. Men den i erkendelsesteoretisk Henseende dybtgaaende Forskel mellem fyldt og tomt Rum er Forskellen mellem Rum *med* Kraftfelter og Rum *uden* Kraftfelter. Saaledes opfattet bliver »tomt Rum« kun et Grænsebegreb.

Man kan sige, at en Klode er et fysisk Individ, der bestaar af et Stofparti og et Neutralfelt, og dette sidste, der strækker sig ud i det uendelige, er en ligesaa integrerende Del af Individet som Stofpartiet. Det er derfor berettiget at sige, at enhver Klode, ethvert Legeme, ethvert Atom er uendelig stort eller fylder den hele Verden, men saaledes, at dens Felt bliver svagere og svagere, d. v. s. dens Indflydelse paa de fysiske Processer ringere og ringere, jo længere man kommer bort fra Stofpartiet, eller med andre Ord, at *Feltets Intensitet* aftager med Afstanden fra dette. — Denne Opfattelse udelukker dog ikke videregaaende Spekulationer over Neutralfeltets Natur og Forhold til Stofpartierne.

Naar vi virkelig gør os fortrolig med den Kendsgerning, at Rummet mellem Kloderne, d. v. s. deres Stofpartier, er fyldt af noget ganske ligesaa reelt som det, vi kalder Stof, nemlig det af samtlige Kloders Neutralfelter dannede sammensatte Neutralfelt, vil det paavirke vor Opfattelse af de fysiske Processer i Rummet. Lyset kan f. Eks. betragtes som en periodisk, fremskridende Ændring i den forud tilstedeværende Rumtilstand, og vi har derfor ligesaa lidt Grund til at antage Eksistensen af et særligt for dette

Digitized by Google

Formaal opfundet Medium som til at indføre et saadant til Forklaring af Fjernkræfterne. Hypotesen om en særlig Verdensæter bliver set i Lys af denne Opfattelse overflødig, fordi vi derved ikke bringes et Skridt videre frem i Verdensforstaaelse, end naar vi betragter de principielt iagttagelige Legemer som Bærere af alle Aarsager og de af dem betingede Rumtilstande som bestemmende for al fysisk Virksomhed.

Man kunde godt bruge Navnet Æteren om Klodernes sammensatte Neutralfelt, og mange vilde maaske mene, at den her fremsatte Opfattelse af Tilstanden i Verdensrummet kun er en anden Udtryksmaade for den velkendte Opfattelse, at Legemer — Elektroner, Atomkerner, Atomer — er singulære Steder, »Hvirvler«, »Knuder« el. lign. i Æteren. Det turde dog være tvivlsomt, om der lægges det samme ind i den sidstnævnte Opfattelse som i den første. Efter denne er »Knuderne« og deres individuelle Felter det eneste eksisterende. En Æter uden Knuder eksisterer slet ikke. Det er det individuelle, der er det reelle, det iagttagelige. Naar man taler om Bevægelse i »Neutralfeltæteren« er det Bevægelse i Forhold til de fysiske Individer, der sammensætter den. Neutralfeltæteren er derfor ikke en »Absolutæter«, men en »Relativæter«.

Lad os nu betragte Stjerneverdenen som fast, d. v. s. se bort fra Stjernernes indbyrdes Bevægelser. Vi kan da tænke os et i Stjerneverdenen fastlagt Koordinatsystem XYZ, som vi vil kalde Hvilekoordinatsystemet. Vi kan sige, at det ligger fast i det af Stjerneverdenen dannede sammensatte Neutralfelt. I dette vil der være forskellig Feltintensitet paa forskellige Steder. Lad os imidlertid antage, at indenfor en vis Rumegn R af betydelig Udstrækning er Feltintensiteten konstant; det er et homogent Neutralfelt*). Her vil et til sig selv overladt Legeme, antager

*) Vi kan ogsaa betegne det som »et gravitationsfrit Neutralfelt«. Hvis vi i Tilslutning til Einstein havde brugt Ordet »Gravitationsfelt« i Stedet for Ordet »Neutralfelt«, vilde vi her komme i Forlegenhed, da man ikke godt kan tale om et »gravitationsfrit Gravitationsfelt«, og »et homogent Gravitationsfelt« har en helt anden Betydning. Det er dog ikke alene af denne sproglige Hensigtsmæssighedsgrund, at jeg har anvendt det nye Ord Neutralfelt. Det synes mig ogsaa i og for sig mere rationelt at indføre et nyt Ord end at give Begrebet »Gravitation« en saadan Udvidelse som den, Einsteins Anvendelse af det medfører. Desuden forekommer Betegnelsen »Neutralfeltet« mig at pege paa noget væsentligt ved Sagen.

Digitized by Google

vi, bevæge sig jævnt og retliniet i Hvilekoordinatsystemet. Et Koordinatsystem $X_1Y_1Z_1$, der er i Hvile i Neutralfeltet, er altsaa her et Inertialsystem. I det gælder Inertiens Lov, men kun indenfor den betragtede Rumegn; det er altsaa ikke en almen Lov. Det er endvidere kun en Tilnærmelse, da vi ikke kan vente, at Feltintensiteten kan være mere end tilnærmelsesvis konstant indenfor en Rumegn af endelig Udstrækning. Et Koordinatsystem $X_2Y_2Z_2$,

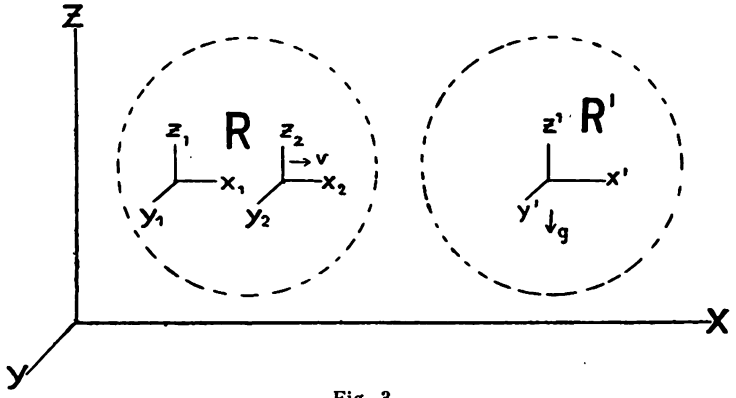


Fig. 3.

der bevæger sig jævnt i Forhold til $X_1Y_1Z_1$, er efter Newtons Mekanik ogsaa et Inertialsystem. Vi vil kalde det i Neutralfeltet hvilende det primære Inertialsystem, de i Forhold dertil jævnt og retliniet bevægede de sekundære Inertialsystemer. — Indenfor en anden Rumegn R' varierer Intensiteten. Et til sig selv overladt Legeme vil da, antager vi, faa en vis af dets Beskaffenhed uafhængig Acceleration i Neutralfeltet i den Retning, i hvilken Intensiteten tiltager stærkest. Vi vil nu antage, at Accelerationen er konstant i Størrelse og Retning indenfor R', der altsaa er et homogent Gravitationsfelt. Vælger vi nu her et Koordinatsystem $X'Y'Z'$, der har den Feltet karakteriserende Acceleration, saa vil et til sig selv overladt Legeme bevæge sig jævnt og retliniet i dette Koordinatsystem; det er med andre Ord et Inertialsystem; vi vil kalde det et feltaccelereret Inertialsystem. Ogsaa blandt de forskellige jævnt og retliniet relativt til hverandre bevægede Inertialsystemer af denne Art indenfor R', vil i et vist Øjeblik et, det primære System, være udmærket fremfor de andre derved, at det har Hastigheden Nul i Feltet; men som Følge af Accelerationen

Digitized by Google

vil det stadig være nye Systemer der faar denne Hastighed. — Tænker vi os, at Jorden befinder sig i et af de ydre Kloder dannet homogent Neutralfelt, kan en lille jordisk Rumegn, f. Eks. omfattende en enkelt Bygning, svare til R' i det af Jord og ydre Kloder tilsammen dannede Felt; et med en i Bygningen frit nedstyrtende Elevator følgende Koordinatsystem, vilde da være et feltaccelereret Inertialsystem. (Vi ser bort fra Jordens Omdrejning).

I Følge det specielle Relativitetsprincip, som vi vil kalde den første Ækvivalenslov, skal $X_1Y_1Z_1$ være ækvivalent med $X_2Y_2Z_2$; og i Følge Einsteins saakaldte Ækvivalenshypotese, som vi vil kalde den anden Ækvivalenslov, skal et Koordinatsystem som $X'Y'Z'$ være ækvivalent med dem. En Iagttager i Rumegnen R' kan derfor ikke af de fysiske Processer, som forløber indenfor denne Egn, afgøre, om Feltet her er homogent eller ej; vi kan derfor betegne Feltet indenfor Rumegnen R' som et pseudohomogent Neutralfelt. (En Iagttager i den nedstyrtende Elevator vil saaledes, hvis den er helt lukket, under Nedstyrtningen gøre ganske samme Erfaringer som, hvis Elevatoren var i Hvile eller jævnt bevæget i et homogent Neutralfelt; Tyngdekraften vil synes at være fuldstændig forsvundet). Kun i en Rumegn med homogent eller pseudohomogent Neutralfelt (d. v. s. strængt taget kun i en infinitesimal Rumegn) kan man lægge Inertialsystemer, og vi kan udtrykke begge de Einstein'ske Ækvivalenslove under et i den korte Sætning, at alle Inertialsystemer er ækvivalente. Man kunde søge en fysisk Forklaring paa Ækvivalenslovene deri, at de paagældende Rumegnes Dimensioner er smaa i Forhold til Afstandene til det ydre feltdannende System, og at dette paavirker alle Legemer indenfor en saadan Rumegn paa samme Maade. Derved bortelimineres denne ydre Paavirkning af Vekselvirkningerne indenfor Rumegnen, saa at den kan lades ude af Betragtning; eller den gør sig i alt Fald blot gældende som en for Processernes Forløb karakteristisk Konstant, der af Iagttagere indenfor Rumegnen kan opfattes som en Verdenskonstant.

Men omend de forskellige Inertialsystemer er ækvivalente, saaledes at man ikke ved Undersøgelse af Processer indenfor den paagældende Rumegn kan skelne imellem dem, saa er de dog paa ingen Maade fysisk ligestillede. Det primære Inertialsystem er virkelig udmærket fremfor de sekundære derved, at det er i Hvile

Digitized by Google

i Forhold til det feltdannende System, altsaa et System af reelle principielt iagttagelige Legemer, der er bestemmende for de fysiske Processer i den betragtede Rumegn. Og ligesaa adskiller et i et homogent Neutralfelt jævnt bevæget Inertialsystem sig fra et i et pseudohomogent Neutralfelt feltaccelereret Inertialsystem ved deres forskellige Bevægelse relativt til det feltdannende System. Kan Iagttageren se udenfor den paagældende Rumegn, d. v. s. modtage Lysbud fra feltdannende Legemer, saa kan han konstatere sin Bevægelse i Forhold til dem. Er der et Vindu i den omtalte Elevator, kan Personen i den saaledes erkende dens Fald — for slet ikke at tale om, naar han kommer til Bunden; saa faar han et meget kraftigt Indtryk af, at det feltdannede Legeme, Jorden, er en Realitet. Og en Iagttager her paa Jorden kan jo ved Iagttagelser fortsat gennem lange Tider konstatere, at Solsystemet bevæger sig med en Fart af henved 20 km i en vis Retning i Forhold til den synlige Fiksstjerneverden.

Hvis man i denne Henseende kunde betragte de synlige Stjerner som fuldgyldige Repræsentanter for den hele for vore Rumegne bestemmende feltdannende Verden, saa kunde man paa denne Maade bestemme det primære Inertialsystem eller med andre Ord Jordens og de jordiske Legemers Hastighed i Neutralfeltet. Nu kan vi ganske vist ikke gaa ud fra, at denne Forudsætning er opfyldt (i Virkeligheden tvinges vi til at antage, at en langt større Verden af Kloder end den synlige Stjerneverden er bestemmende for Neutralfeltet hos os). Men at vi ikke kan iagttage alle de feltdannende Kloder, beror kun paa Begrænsningen i vore Iagtagelsesmidler, og hvad det her kommer an paa, er blot, at det er principielt muligt at bestemme Bevægelsen i det af hele den ydre Verden dannede Neutralfelt, og at vi paa det S. 59 opstillede Spørgsmaal kan give det Svar, at de Koordinatsystemer, som i Einsteins Relativitetslære sættes ækvivalente, fremtræder som ikke fysisk ligestillede, naar vi i Stedet for at holde os til en begrænset Rumegn betragter dem i den større fysiske Sammenhæng, hvori det feltdannende System indgaar.

Naar man, som det var Tilfældet ved den specielle Relativitetslære, lod dette ude af Betragtning, havde man kun med et løsrevet Stykke af Verden at gøre, og paa et saa svagt Fundament var det ikke forsvarligt at bygge dybtgaaende erkendelsesteoretiske

Digitized by Google

Betragtninger og at stille Krav om en Revolution af vor Rum- og Tidsopfattelse. — Tages det feltdannende System med i Betragtning og kender man Bevægelsen i Forhold til det, kan man under Anvendelse af den Lorentz'ske Teori — med Neutralfeltet i Æterens Sted — beregne de til de paagældende Legemers Hastighed i Feltet svarende Forkortninger og Periodeforlængelser. Naar hver Iagttager korrigerede sine Maalestokke og Ure for disse Ændringer, kunde han ved disse Korrektioner naa til en Rum-Tidsindordning af alle Iagttagelser, der vilde stemme med »den primære Iagttagers«. Det er med andre Ord principielt muligt at indordne alt det iagttagne entydigt i et Verdensbillede. Vi kan ogsaa sige, at det er principielt muligt at anskueliggøre Fænomenernes Forløb ved en enkelt mekanisk Model baseret paa Relationer mellem iagttagelige Ting, naar det feltdannende System inddrages i Modellen; hvis dette ikke sker, bliver derimod ethvert Forsøg i denne Retning egentlig vildledende, selv om det maaske med de fornødne Forbehold kan have en vis didaktisk Værdi.

Vi kan betegne den her omtalte entydige Rum-Tidsindordning som kausal, fordi den baserer Rum-Tidsbestemmelsen paa en lovmæssig Sammenhæng mellem Maalestokkenes Længder, henholdsvis Urenes Periodelængder, og Maalestokkenes, henholdsvis Urenes, Relation til reale Legemer (og deres fysiske Egenskaber). Den opfylder derved det Krav, man kan stille til en kausal Beskrivelse, nemlig at Længderne af Maalestokke og Perioderne af Ure ikke regnes for forandrede, uden at man kan angive (eller i det mindste efterspore) noget iagttageligt, som man kan gøre ansvarligt for Ændringen, eller med andre Ord anse som Bærer af Aarsagen til den.

I Modsætning til den kausale Indordning kan man betegne den Einstein'ske Indordning som vedtægtsmæssig. Den har som Grundlag den til det valgte Koordinatsystem knyttede Samtidighedsdefinition, og da Hastighedsbegrebet er uadskilleligt sammenknyttet med Samtidighedsbegrebet*), er ogsaa den Einstein'ske «Lyshastig-

*) Den Hastighed, hvormed et Legeme gaar fra A til B, kan defineres som Forholdet mellem Vejlængden AB og den paa et A-Uhr maalte Tidslængde mellem Legemets Afgang fra A og det med dets Ankomst til B samtidige Tidspunkt. — Dette kan efter vor (men ikke efter den Einstein'ske Opfattelse) bestemmes ved et fra A til B overført Ur, idet den ved Bevægelsen i Neutralfeltet frembragte Standændring tages i Beregning.

Digitized by Google

hed« en Definitionsstørrelse i Relation til det tilfældige Koordinatsystem. Da dette skal være et Inertialsystem, kan det ikke vælges helt vilkaarligt; man kan sige, at det delvis repræsenterer visse for de fysiske Processer (bl. a. Lysbevægelsen) bestemmende Realiteter (nemlig de feltdannende Kloder). Men da Valget imellem de forskellige Inertialsystemer træffes vilkaarligt, d. v. s. ikke bestemmes efter deres Relation til Lysbevægelsen, men efter hvad der er et bekvemt matematisk Hjælpemiddel for den tilfældige Iagttager, kan man sige, at Einsteins saakaldte Lyshastighed ikke — som Lyshastigheden i Hvilekoordinatsystemet (d. v. s. relativt til det feltdannende System) — er en ægte fysisk Størrelse, men en Slags Bastard af Fysik og Matematik. Saa længe man ikke har gjort sig dette klart, virker det i høj Grad forvirrende, at den fremtræder under et ægte fysisk Navn. Det syntes derfor mange absurd, at Lyshastigheden kunde være den samme relativt til to i Forhold til hinanden bevægede Systemer, og det syntes overhovedet urimeligt, at man kunde opstille en bestemt fysisk Lov om Lyshastigheden i Forhold til en Banedæmning, et paa dette kørende Tog og andre Henførelsesystemer, som i og for sig ikke har noget med Lysbevægelsen at gøre. Men der er ikke noget absurd i, at en saadan simpel Lov (Loven om Lyshastighedens Konstans) kan gælde om en Definitionsstørrelse, der er afhængig saa vel af den fysiske Lyshastighed i Neutralfeltet som af de med det valgte Koordinatsystem følgende Maalestokkes og Ures Ændringer ved Bevægelsen i Neutralfeltet. Der er heri intet, som tvinger os til at ændre vor Rum- og Tidsopfattelse. Einsteins vedtægtsmæssige Indordningsprincip staar ikke i nogen reel Strid med det kausale. Det kan betragtes som en matematisk Transformation af det kausale — og det en overmaade værdifuld Transformation, fordi den giver stor Simpelhed i Beskrivelsen.

Hvis nogen vilde stille det Spørgsmaal, om Bevægelserne i Neutralfeltet virkelig frembringer de omtalte Ændringer af Dimensioner og Periodelængder, kan hertil svares, at vi kan opfatte disse Ændringer som virkelige i samme Forstand som alle andre ved iagttagelige Aarsager bestemte Ændringer af Længder og Tider (f. Eks. Ændringer af Maalestoklængder og Urperioder ved Tryk og Temperatur); de er ikke mindre, ikke mere reelle end disse. Som Einstein har fremhævet, er det, vi iagttager ved vore Maa-

Digitized by Google

linger, i og for sig slet ikke Længder eller Tidsrum, men kun »rumtidslige Koincidenser«. Vi konstaterer blot, at et vist Mærke paa en Maalestok falder sammen med et Mærke paa et andet Legeme, og at dette Sammenfald opfattes samtidig med et Sammenfald af en Urviser med et vist Mærke paa Urskiven o. s. v. Flyttes en Maalestok hen i Nærheden af en varm Kakkelovn, vil Enderne af en Stang herhenne maaske straks falde sammen med to Mærker paa Maalestokken med 1000 mellemliggende Delstykker, men lidt efter kun strække sig over 999 Delstykker; vi siger saa, at Maalestokken i den forløbne Tid har forandret sin Længde og søger Aarsagen til denne Forandring i en af Kakkelovnen betinget Varmetilstand i dens Nærhed. En anden Gang fører vi maaske en Messing- og en Staalmaalestok sammen hen til Kakkelovnen og finder at i forkellige Afstande fra den, er Koincidenserne mellem Mærkerne paa de to Maalestokke forskellige; vi siger da, at de begge har ændret Længde, men ulige meget. Paa Grundlag af saadanne og andre Forsøg opstiller vi visse Love for Legemernes Dimensionsforandringer under forskellige Forhold, og ved at anvende disse Love kan vi ved Maalinger med Maalestokke af forskellig Art faa iagttagelige Punkter paa Legemerne rumligt indordnede paa entydig Maade. Dette er vort Kendetegn paa, at Lovene er »rigtige« og Ændringerne »virkelige«, og vi regner med disse, selv naar de ikke træder frem for Iagttagelsen — som f. Eks. naar to Staalmaalestokke sammen føres hen i Nærheden af Kakkelovnen. Nu skjuler de til Bevægelser i Neutralfeltet svarende Ændringer sig ganske vist særdeles godt; men det viser sig dog, at vi ikke kan faa en entydig Rum-Tidsindordning uden at regne med saadanne Ændringer, medens vi derimod opnaar en entydig Indordning ved at indføre dem. Og disse Ændringer staar ligesaa vel som Ændringer ved Temperatur i lovmæssige Relationer til iagttagelige Ting; de indtager derfor med samme Ret deres Plads i en kausal Beskrivelse af Fænomenerne. Principielt er Forholdet det samme i begge Tilfælde, og i ingen af dem behøver vi at tillægge Ordet virkelig eller Ordet Aarsag en eller anden transcendent Betydning.

I det foregaaende har vi i det væsentlige holdt os til de Forhold, hvorom det drejede sig ved den specielle Relativitetsteori, og det var særlig ved denne, en tilsyneladende Mangel paa Kau-

Digitized by Google

salitet sprang i Øjnene. I den almene Relativitetsteori kan det kausale vel være tilsløret ved Fremstillingsmaade og Udtryksmaader, men de feltdannende Legemer (hvis Indflydelse i Formlerne repræsenteres ved de 10 Komponenter af Gravitationspotentialet) optræder dog der som kausalt bestemmende for Lyskrumninger, Spektralforskydninger m. m. I kvalitativ Henseende kan vi endogsaa utvungent føres et godt Stykke i Retning mod de reelle Resultater af Teorien gennem simple Betragtninger af kausal Art og uden at anvende Einsteins Ækvivalenslove og de særlige Einstein'ske Metoder (Anvendelse af firdimensionale Rum-Tidskoordinater, Indførelse af et ikke euklidisk Udtryk for Linieelementet m. m.)

Idet vi sætter Neutralfeltet i Æterens Sted, skal der ved Elektronernes Bevægelse i Feltet frembringes magnetiske Felter. Ved den dertil fornødne Energi forklares Trægheden paa den bekendte Maade. Men naar vi antager, at det er Bevægelsen i Neutralfeltet, der er bestemmende for disse Virkninger, maa vi antage, at de aftager med Feltets Intensitet. I et tomt (ɔ: feltfrit) Rum, kan Bevægelsen intet magnetisk Felt frembringe. Legemets Masse skulde da blive 0, dets Bane ubestemt. Naar saavel Kræfterne mellem Legemerne som deres Masser er af elektrisk Natur, maa vi vente at saavel Dimensioner af faste Legemer som Perioder af periodiske Systemer ændrer sig med Feltintensiteten. De Lorentz'ske Forkortninger, der er kausalt bestemte ved Bevægelsen i Feltet, maa antages a_t nærme sig til 0 med Feltintensiteten. Kontraktionsfaktoren $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ skal altsaa for en Hastighed v nærme sig til 1, d, v. s. c skal nærme sig til ∞ med aftagende Intensitet. Den skal altsaa f. Eks. tiltage, naar man fjerner sig fra Solen, hvad der fører til Krumning i den af Einstein angivne Retning. At Lyset ikke bevæger sig jævnt og retliniet i et varierende Felt synes ogsaa umiddelbart indlysende, naar Lyset antages at være en periodisk, fremskridende Ændring i Neutralfeltets Tilstand. — At Planeterne ikke nøjagtigt kan følge Newtons Love i det varierende Felt, maa ogsaa anses for en Konsekvens af den hele Betragtning.

Naar nu Einstein gennem sine særlige Antagelser og Betragtninger udleder bestemte kvantitative Love for alle disse Forhold, synes det da paa Forhaand lidet sandsynligt, at den almene Relativitetsteori derigennem skulde komme i nødvendig Modstrid med de Principper, som hidtil har ledet den fysiske Forskning.

Digitized by Google

Hvad der særlig bidrager til at fremkalde det Indtryk, at der er en saadan Modstrid, er vel Teoriens Forhold til den euklidiske Geometri. Sagen opfattes ofte saaledes, at Teorien viser, at denne Geometri ikke gælder eller kun gælder med Tilnærmelse for det Rum, hvori vi lever, og bl. a. deraf skulde følge, at den almene Relativitetsteori stiller endnu videregaaende Krav til en Revolution af vor Rum- og Tidsopfattelse end dem, som den specielle Relativitetsteori — med Urette — antoges at medføre; Einstein synes selv at støtte en saadan Opfattelse af Teorien.

Som Eksempel herpaa kan anføres følgende Betragtning fra Einsteins Bog »Ueber die spez. u. die allg. Relativitätstheori« (S. 55, 2. Udg.). Einstein tænker sig her, at Periferi og Radius af en roterende Skive maales med en Enhedsmaalestok (en relativ til Radius lille Stang) af en Iagttager paa Skiven; da finder denne — hvis han kunde maale med tilstrækkelig Finhed — en større Talværdi end 2π for Forholdet mellem Periferi og Radius, fordi Stangen faar en Lorentz-Kontraktion, naar den lægges efter Randen og derved bevæges i sin egen Retning i det Inertialsystem, hvori Skiven drejer sig. Herom siger Einstein nu: »Dermed er det allerede bevist, at den euklidiske Geometris Sætninger ikke kan gælde nøjagtig for den roterende Skive og dermed overhovedet ikke i et Gravitationsfelt, i det mindste naar man overalt og i enhver Orientering tilskriver Stangen Længden 1.« Men i den sidste Sætning er der rigtignok taget et for Opfattelsen af Forholdet afgørende Forbehold; thi ved den kausale Indordning maa vi jo netop ikke gøre dette; vi skal tværtimod korrigere Stanglængden for Lorentz-Forkortningen, og derved fremkommer jo i det betragtede Tilfælde netop den euklidiske Værdi 2π for Talforholdet.*) Det gaar altsaa

*) Dersom Forkortningerne ikke var for smaa, vilde man netop ved en saadan Skive kunne give et stærkt Indtryk af, at de er ligesaa reelle som Ændringer ved Temperatur. Lad os tænke os, at vi paa Skiven, medens den er i Hvile, lægger en Maalestok a langs Randen og sætter Mærker paa Skiven ved dens Ender og tillige en Række Maalestokke b i Flugt efter en Radius fra Centrum ud til Randen. Dernæst sætter vi Skiven i hurtig Rotation. Dens Dele vil da søge at trække sig sammen efter Periferien og dermed koncentriske Cirkler, men ikke efter Radier. Tænker vi os, at Skivens Stof er usammentrykkeligt efter Radierne, vil Resultatet da blot blive, at der opstaar Spændinger efter Cirklerne, uden at disse Linier forkortes. (Om man vilde stille Modsætningen til den Einstein'ske Synsmaade kraftigt op, kunde man sige, at de ikke kan det, fordi den euklidiske Regel, at en Cirkel-

Digitized by Google

her, som man altid tidligere har forudsat, det vilde gaa, at Indførelse af Korrektion for de kausalt bestemte Ændringer bringer Overensstemmelse med de euklidiske Regler (Smlgn. f. Eks. tilsvarende Udmaalinger paa en Skive, hvor Temperaturen aftager fra Centrum mod Randen).

Man skulde da vente, at ogsaa de andre i Relavitetsteorien optrædende Afvigelser fra de euklidiske Regler vilde forsvinde, naar man korrigerer Maalestokke og Ure ikke blot for Indflydelse af Bevægelsen i Feltet, men ogsaa for de Ændringer, som skyldes Variationerne i Feltintensitet. Hvis dette kan opnaas under Anvendelse af Neutralfeltlove, som ikke strider mod de ved den almene Relativitetsteori udledede Relationer, da kan man opfatte denne ligesom den specielle som en matematisk Transformation af en kausal Beskrivelse paa den almidelige Rum- og Tidsopfattelses Grund. Medens man ved en kausal Beskrivelse efter de almindelige fysiske Principper skal lade de af Masserne i Rummet betingede Felttilstande gaa ind i Rækken af de øvrige Legemers Dimensioner, Ures Gang o. a. bestemmende Aarsager, giver man i Einsteins Relativitetsteori »Gravitationen« en Særstilling som bestemmende for »Rummets metriske Egenskaber«; man flytter saa at sige det kausale over i det geometriske. At noget saadant lader sig gennemføre er i og for sig en Opdagelse af største Betydning, og Transformationen har vist sig overordentlig frugtbar, men det er ikke en nødvendig Følge deraf, at vi ikke vedblivende kan tænke os alt det iagttagne indordnet entydigt i et med Tiden varierende Verdensbillede af euklidisk Art.

Einstein har imidlertid, idet han søgte at give sin Teori matematisk Afslutning — at finde Grænsebetingelserne — opstillet den Hypotese, at Verdenskontinuet m. H. t. rumlig Udstrækning

periferi er 2π Gange Radius, maa respekteres). Da Maalestokken *a* derimod frit kan trække sig sammen, vil dens Ender forlade Mærkerne; Lorentz-Forkortningen fremtræder derved saa direkte og reel, som man kan forlange. Maalestokken *b* forskyder sig derimod ikke paa Skiven, hvorved det kontrolleres, at Radierne ikke forkortes. — I Virkeligheden vil Forudsætningen om Usammentrykkelighed efter Radierne naturligvis ikke være opfyldt, og Forholdet bliver derved mere indviklet; Spændingen efter Cirklerne vil fremkalde nogen Forkortning af Radierne, saa at Maalestokrækken *b* kommer til at rage lidt udenfor Skiven, og den iagttagne Forkortning af *a* vil blive mindre. Er Skiven tynd, kan den slaa sig.

Digitized by Google

er et ikkeeuklidisk tredimensionalt Volumen, som vel har forskellig Krumningsradius paa forskellige Steder, men dog i det store og hele er sfærisk (Sitzungsber. der Kgl. Preussischen Akad. der Wissensch. 1917 S. 142). Hvad nu de lokale Rumsfæriciteter (Afvigelserne fra den gennemsnitlige Krumningsradius) angaar, da har disse deres kausale Basis i de paa forskellige Steder eksisterende Kloder, og de skulde borttransformeres, idet vi indfører Kloderne som Aarsager paa almindelig Vis (gaar fra den geometriske tilbage til den almindelige kausale Beskrivelse); men Rummets almene sfæriske Karakter synes ikke at have en saadan kausal Basis, og vi synes saaledes, hvis Hypotesen er rigtig, ikke at kunne komme tilbage til et euklidisk Verdensbillede.

Det forekommer mig imidlertid naturligere at forestille sig Verdensbygningen under en anden Form, idet vi tager vort Udgangspunkt i den Ordning af Stoffet i Systemer af voksende Størrelsesorden, som vi forefinder som en Kendsgerning, saa langt vore Iagttagelser rækker. Vi ved, at Atomerne i det væsentlige er samlede i Kloder som Planeterne, Solen o. a. Disse Kloder danner Solsystemer, som er samlede i Stjernehobe, hvilke atter — maaske med Stjernesystemer af mellemliggende Størrelsesorden som Mellemled — danner Mælkevejssystemet. Vi har Grund til at anse visse Spiraltaager, der bl. a. udmærker sig ved større Hastighed end de for Mælkevejssystemets Stjerner gennemsnitlige for Stjernesystemer af lignende Art som vort Mælkevejssystem. Det er nu en nærliggende og sandsynlig Antagelse, at der findes et stort Antal saadanne Systemer, som tilsammen danner et endeligt System af højere Størrelsesorden, og at disse Kæmpesystemer atter danner et endeligt System af endnu højere Størrelsesorden. Naar vi tænker os Stoffet i Verdensrummet samlet i Systemer af i det uendelige voksende Størrelsesorden — og tillige med i det uendelige voksende indbyrdes Afstande, følger vor Tanke da kun den af vore Iagttagelser angivne Linie stedse videre i samme Retning i Stedet for paa indskrænket egocentrisk Vis at standse paa et ganske tilfældigt af vor begrænsede Iagttagelsesevne bestemt Punkt.

Ved denne Opfattelse af Verdensbygningen kan vi nu komme ud over en vis Vanskelighed, ved Antagelsen af en uendelig udstrakt Verden, overalt befolket af Kloder. Dersom Rummet overalt i en tilstrækkelig stor, men endelig Rumegn har en endelig

Digitized by Google

Gennemsnitstæthed, vilde det Newton'ske Potential og efter »Neutralfelthypotesen« Feltintensiteten faa Værdien ∞ i hvert Punkt, hvad der vilde føre til Urimeligheder. Einstein undgaar denne Konsekvens ved at tænke sig Verden endelig og sfærisk. Vi kan imidlertid ogsaa undgaa den ved »Systemhypotesen«. Naar hvert Systems Udstrækning er ringe i Forhold til Afstandene til dets Jæv-

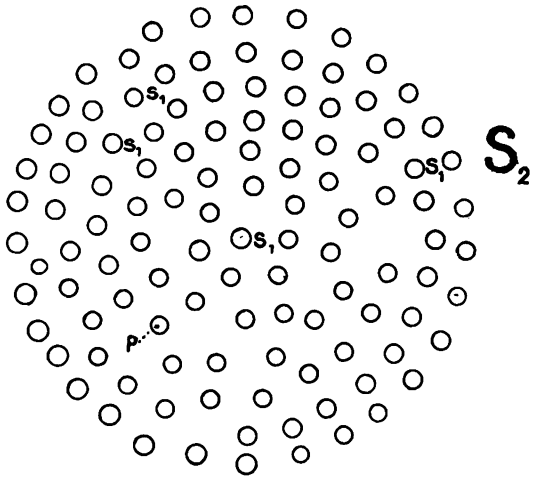


Fig. 4.

ninge, og Antallet af disse er stort, kan Potentialet eller Feltintensiteten i et Punkt i Hovedsagen udtrykkes under Form af en Række, hvor hvert Led betyder Indflydelsen af et af de Systemer, hvori det ogsaa ligger. (I Fig. 4, hvor vi kun har et stort kugleformet System S_2, dannet af et stort Antal smaa kugleformede Systemer S_1, bliver saaledes det Newton'ske Potential i Punktet P tilnærmelsesvis lig $^2/_3 \pi\mu\rho_1 (3r_1^2 - a_1^2) + {}^2/_3 \pi\mu\rho_2 (3r_2^2 - a_2^2)$, idet μ er Tiltrækningskonstanten, ρ_2 og ρ_1 Gennemsnitstæthederne og r_2 og r_1 Radierne af henholdsvis S_2 og S_1 og endelig a_2 og a_1 Punktets Afstande henholdsvis fra Centret af S_2 og fra Centret af det System S_1, hvori Punktet ligger; dette System giver nemlig taget for sig det første Led, og ser vi bort fra dets Indflydelse, giver S_2 tilnærmelsesvis det andet Led.) Naar blot Systemernes indbyrdes Afstand tiltager tilstrækkelig stærkt med voksende Størrelsesorden, vil Rækken blive konvergent og Feltintensiteten altsaa nærme sig til en endelig Grænseværdi, selv om Universet er uendeligt. Tager

Digitized by Google

man saa mange Led med, at Afvigelsen fra Grænseværdien er ubetydelig, kan man udelade de øvrige Led; Systemerne af højere Størrelsesorden end det, der svarer til det sidste medtagne Led, har da kun en overmaade ringe Indflydelse paa Forholdene i den paagældende Rumegn. Kun en endelig Del af Universet har Betydning for den: »dens fysiske Verden« er endelig.

En saadan Forestilling om Verdensaltets Bygning synes mig at harmonere særlig smukt med den Opfattelse af de fysiske Processer, som udspringer af det kausale Relativitetskrav. Den giver os fuld Symmetri i det hele Univers. I dets fjerneste Egne kan vi tænke os mægtige Stjernesystemer af lignende Art som dem, vi kender, men med andre »feltdannende Verdner« end vor. Hvilekoordinatsystemet for Egne af saadanne forskellige Verdner kan være i hvilkensomhelst Translationer og Rotationer relativt til hverandre. Deres Stillinger og Bevægelser kan vi henføre til et hvilketsomhelst retvinklet euklidisk Koordinatsystem, som vi kan tænke os udstrakt over hele Universet; og alle saadanne Koordinatsystemer er ligestillede m. H. t. Indordning af Fænomerne efter Tid og Rum. Simple Udtryk for de fysiske Love faar vi rigtignok ikke ved Henførelse til et saadant tilfældigt universelt Koordinatsystem, der kun kan være et Inertialsystem for enkelte begrænsede Rumegne Men den Omstændighed, at hvert af Verdensbygningens Systemer — fra de mindste Kloder og opad i Størrelsesordnernes Række — som Regel er meget lille i Forhold til Afstandene til dets Jævninge, er af stor Betydning m. H. t. til Udnyttelsen af den Simpelhed, som repræsenteres af Relativitetsteoriens Ækvivalensprincipper; thi deraf følger, at hele Systemet vil befinde sig i et af dets Jævninge samt højere Systemer dannet pseudohomogent Neutralfelt, og man kan da vælge et Koordinatsystem saaledes, at det er et Inertialsystem for hele den Systemet omfattende Rumegn.

Det vil ogsaa harmonere med dette Verdensbillede at antage, at Gennemsnitsværdierne af de ligestillede Systemers Hastigheder relativt til hverandre tiltager med voksende Størrelsesorden (smlgn. Angivelsen S. 75 om Spiraltaagerne). Lyshastigheden i Rummene mellem ligestillede Systemer vil imidlertid ogsaa tiltage med Størrelsesordenen, da Feltintensiteten aftager, efterhaanden som vi forlader de mindre Systemer. Herved er det dog forudsat, at de

Digitized by Google

Maalestokke og Ure, hvormed Lyshastigheden bestemmes, stadig korrigeres for Feltintensitetens Indflydelse. En lagttager, der rejste fra vor Rumegn til andre Egne med ringere Feltintensitet medførende Maalestok og Ur, vilde stadig finde samme Værdi for Lyshastigheden, hvis han stadig regnede Maalestokkens Enhedslængde og Urets Enhedsperiode for 1. Man kunde da maaske ogsaa tro, at det overhovedet var umuligt ved Iagttagelser indenfor Solsystemet at mærke, hvis Systemet efterhaanden forlod først vor Stjernehob, saa Mælkevejssystemet, derefter det næste større System o. s. v. Men naar den fra den ydre Verden hidrørende Feltintensitet bliver mindre, maa det af Solsystemets Legemer ydede Bidrag til den hele Feltintensitet i hvert Punkt blive forholdsvis større, og de fra deres Bevægelser — f. Eks. Jordens Rotation — hidrørende Forstyrrelser i Hvilekoordinatsymet bliver da større og skulde tilsidst kunne faa paaviselige Virkninger (smlgn. S. 62). Ligesaa maa f. Eks. Krumningen af en Lysstraale, der passerer forbi Solen, blive stærkere. Det følger heraf, at det er principielt muligt ved Iagtagelser indenfor Solsystemet at undersøge, om det ved sin frie Bevægelse i Stjerneverdenen for Tiden er i »Fald« eller »Stigning«, d. v, s. om det gaar mod Egne med større eller mindre Feltintensitet; at det herved drejer sig om praktisk talt fuldkommen umærkelige Størrelser er en anden Sag.

Spørger man om, hvor stor den feltdannende Verden, som har Betydning for vore Rumegne, vel kan være, da vil man gennem Betragtninger af forskellig Art føres til det Svar, at den er uhyre mange Gange større end den synlige Stjerneverden. Det er sandsynligt, at det Bidrag, det indre Mælkevejssystem yder til den hele Feltintensitet kun er af en Størrelsesorden som en Milliontedel el. lign. af den. Naar man nu tillige betænker, at de Kloder, som skal yde hele Resten af Feltintensiteten, har langt større Afstande end Mælkevejens Kloder, indses det, at man maa komme til ganske overvældende Tal for Massen og Udstrækningen af vor feltdannende Verden; men i og for sig er der ikke noget afskrækkende i, at de nye Teorier saaledes vider Grænserne for den Verden, vi kan erkende, langt ud over vore Øjnes og Kikkerters Rækkevidde.

Efter Systemhypotesen skal der slet ikke gives et bestemt endeligt Tal for Massen og Udstrækningen af vor feltdannende Ver-

Digitized by Google

den. Til hvilken Størrelsesorden af Systemerne man maa gaa, afhænger — foruden af Klodernes Fordeling og Neutralfeltlovene — af den Nøjagtighed, hvormed man ønsker, at der skal gøres Rede for Yderverdenens Indflydelse paa Processerne i vore Egne; den Verden. der yder 0,999 af Feltintensiteten, er saaledes mange Gange større end den, der yder 0,99 af den. Størrelsen af den til en bestemt Nøjagtighedsgrad svarende feltdannende Verden kan endvidere være forskellig for forskellige Egne af Universet.

Efter Einsteins »Sfæricitetshypotese« skulde Massen af den hele fysiske Verden derimod have en ganske bestemt endelig Værdi, hvortil der saa ogsaa skulde svare en bestemt Udstrækning (Krumningsradius) og tillige en bestemt gennemsnitlig Lyshastighed. Men det synes rigtignok udelukket, at man ved Iagttagelser indenfor Solsystemet, de være nok saa nøjagtige, kan bestemme Verdensmassen og Verdenskrumningsradien hver for sig. Jo større man antager Massen, des større finder man ogsaa Udstrækningen (ligesom for den feltdannende Verden ved Systemhypotesen) og dette kan vække Mistanke om, at de teoretisk eksisterende bestemte Værdier kun er Fiktioner.

Netop fra et »relativistisk« Standpunkt synes det tilmed at være en Fordel ved Systemhypotesen, at den ikke fører os til en universel Værdi for Verdensmassen, Verdens rumlige Udstrækning eller Gennemsnitslyshastigheden, og at den muligvis kan befri os for alle universelle Konstanter. Til Gengæld afskærer Systemhypotesen antagelig Muligheden for, at man kan give Einsteins Relativitetsteori den matematiske Afsluttethed, som Einstein og andre har søgt, men dette forekommer mig ogsaa snarere at være et matematisk end et fysisk Ideal.

Digitized by Google

Røntgenstraalingens Betydning for den kvantitative kemiske Analyse.

Af H. Fricke.

Det er en kendt Sag, at hvert Grundstofatom har sit karakteristiske System af Spektrallinier, der strækker sig fra det yderste ultrarøde til det yderste violette.

De sidste Aars Undersøgelser har vist, at der desuden tilkommer hvert Atom en Række Spektrallinier i det Bølgebreddeinterval, som Røntgenstraalingen strækker sig over.

Begge Arter af Spektrallinier faas bedst i elektriske Udladningsrør; de sidste i de specielle, vi benævner Røntgenrør.

Vil man have et kemisk Elements Røntgenspektrum, anbringer man simpelthen en eller anden kemisk Forbindelse af det paa Antikatoden i et Røntgenrør. Den spektrale Opløsning sker ved en Krystal. En saadan virker paa Røntgenstraaler som et Gitter paa almindeligt Lys: Atomrækkerne i den første svarer til de ridsede Linier i det sidste.

Da Røntgenstraaling jo ikke virker paa Øjet, maa Spektret observeres ved Fotografering.

Foruden Evnen til at udsende et vist Røntgenspektrum har hvert Grundstofatom ogsaa en anden meget simpel karakteristisk Egenskab knyttet til Røntgenstraaling; det er den, at der for visse bestemte Bølgebredder finder Spring i dets Absorption af Røntgenstraaling Sted. Disse Bølgebredder kalder vi vedkommende Grundstofatoms Grænsebølgebredder.

Vi kan paa en simpel Maade bestemme dem. Foruden den lige omtalte, paa enkelte Bølgebredder fordelte, Røntgenstraaling vil der nemlig desuden fra Antikatoden i et Røntgenrør udgaa en kontinuert Røntgen-Straaling (analogt til det Lys, der udsendes af et glødende Legeme). Vi kan under Brug af en Krystal fotografere den kontinuerte Straaling paa samme Maade som Linierne; den giver en kontinuert Sværtning paa Pladen. Anbringer vi Grundstoffet — ligegyldigt i hvilken Blanding eller kemisk Forbindelse — i Straalingens Vej, vil det omtalte Spring i Absorptionen give sig til Kende ved et Spring i Sværtningen paa Pladen: vi faar, hvad vi kalder en Absorptionskant (Fig. 1).

Digitized by Google

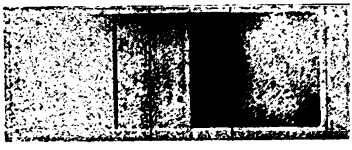


Fig. 1.

En Fotometrering af Pladen giver en Sværtningskurve som vist i Fig. 2.

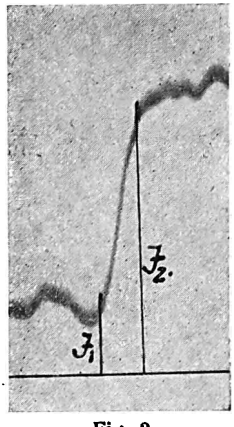


Fig. 2.
(Absorberende Grundstof Al, 189 mgr. pr. cm^2).

Udmaaler vi Absorptionskanternes Beliggenhed paa Pladen, kan de tilhørende Grænsebølgebredder beregnes.

Har vi et vist Stof og ønsker at vide, hvilke Grundstoffer det indeholder, kan vi altsaa paa to Maader naa til dette ved Røntgenstraalingens Hjælp. Vi kan fotografere Stoffets Røntgenemissionslinier eller Stoffets Absorptionskanter. I begge Tilfælde kan vi ved at slaa op i Tabeller, der giver Bølgebredderne for alle Grundstoffers Røntgenspektrallinier og Absorptionskanter bestemme, hvilke Grundstoffer der var i Stoffet.

En Analyse for Grundstofatomer ved Røntgenstraaling er langt bekvemmere og mere anvendelig end Analyse ved almindelige Spektrallinier og Absorptionslinier (respektive Baand). Dette beror bl. a.

Digitized by Google

paa den i Almindelighed langt simplere Frembringelsesmaade og særlig paa Røntgenspektrenes simple og konstante Bygning.

Vi kan indskyde, at man i de sidste Aar af og til har benyttet Røntgenstraalingsmetoden til at undersøge kosmetiske Sten for nogle af de Grundstoffer, som vi ifølge det periodiske System antager eksisterer, men som til Dato ikke er fundet.

Benyttelsen af Absorptionskanterne ved en Analyse byder den Fordel, at Stoffet, der analyseres, ikke ødelægges; ogsaa det Forhold, at den Glastube eller lignende, i hvilket Stoffet haves, da ikke behøver at aabnes, for at Analysen kan udføres, kan af og til have Betydning.

Men denne Metode byder desuden en Fordel af en ganske anderledes stor Betydning. Det er den, at den, naar den nødvendige Teknik er blevet uddannet, vil kunne give de nøjagtigste kvantitative Oplysninger.

Det Forhold, at de hidtil anvendte Analyser ved Spektrallinier næsten ikke tillader at drage noglesomhelst kvantitative Slutninger, er det netop, der har gjort, at disse hidtil ikke har haft nogen særlig Betydning.

Naar man vil gøre en kvantitativ Analyse ved Absorptionskantmetoden, tager man, som ovenfor beskrevet, et Fotografi af en Absorptionskant for det Grundstof, man analyserer for. En Fotometrering af den opnaaede fotografiske Plade giver Fotometerkurven i Fig 2. Vi vil gaa ud fra, at Ordinaterne i Kurven giver et rigtigt Maal for Røntgenstraalingsintensiteterne i Spektret; vi kan da ved Udmaaling af denne bestemme Røntgenstraalingsintensiteterne J_1 og J_2 (se Fig. 2) paa de to Sider af Kanten.

Vi vil kalde Masseabsorptionskoefficienterne for vedkommende Grundstof svarende til de to Sider af Kanten μ_1 og μ_2 og antager, at vi har haft x gr. af Grundstoffet i den undersøgte Blanding. Da haves:

$$\left.\begin{aligned} J_1 &= J_0 e^{-\mu_1 x} \\ J_2 &= J_0 e^{-\mu_2 x} \\ \frac{J_1}{J_2} &= e^{-(\mu_1-\mu_2)x} \end{aligned}\right\} \text{ d. v. s.}$$

Da μ_1 og μ_2 er Størrelser, vi kender, kan x bestemmes.

Det vil være praktisk at arbejde med saa meget af Stoffet, at $\frac{J_1}{J_2}$ $= \text{ca. } \frac{1}{e}$ d. v. s. $(\mu_1 - \mu_2)\, x = \text{ca. } 1$. Den procentiske Nøjagtighed,

Digitized by Google

hvormed x kan bestemmes, er da den samme som den, hvormed $\frac{J_1}{J_2}$ kan bestemmes.

Da Grundstoffernes Absorption af Røntgenstraaling vokser meget stærkt med Atomvægten, kan Analyse ved Absorptionskanter altsaa ikke bruges overfor et Grundstof, der forekommer i ringere Mængde i en Blanding af Stoffer med meget højere Atomvægte. Bestemmelsen af $\frac{J_1}{J_2}$ med stor Nøjagtighed er med den Teknik, der i Øjeblikket er naaet paa dette Felt, ikke ganske let.

Vi har som Detector for Røntgenstraalingen kun omtalt den fotografiske Plade. Som bekendt egner den sig ikke særlig godt til Intensitetsmaalinger, idet Sværtningen dels ikke er ligefrem proportional med Straalingens Intensitet, dels afhænger af andre Forhold, som Fremkaldelsestid etc. Imidlertid har man i »Ionisationskammeret« en Detector, hvor en tilsvarende Vanskelighed ikke kommer ind.

En anden Vanskelighed ved den fotografiske Metode er Eliminationen af Pladesløret, d. v. s. den Sværtning, der ikke skyldes den fra Krystallen direkte reflekterede Røntgenstraaling, men som har anden Aarsag — særlig den fra alle Dele af Spektroskopet diffust reflekterede Røntgenstraaling.

Særlig bekvem og nøjagtig vil Absorptionskant-Metoden være i det i Praksis meget vigtige og almindelige Tilfælde, at det drejer sig om en regelmæssig Undersøgelse af Prøver af et næsten konstant Fabrikationsprodukt — spc. for Urenheder.

Den Metode, der her er beskrevet, er endnu ikke prøvet i Praksis; utvivlsomt har Tekniken allerede nu paa dette Felt naaet en saadan Finhed, at den med Fordel vil kunne anvendes under mange Forhold. Jeg vil kun nævne et saadant Felt som Fremstilling af kemisk rene Grundstoffer (sp. Platin).

Den Betydning, Metoden ved den stadig større Forfining af Tekniken vil kunne faa, kan næppe skattes for højt.

Jefferson Physical Laboratory, Harvard University. U. S. A.
Januar 1920.

Digitized by Google

Brev fra Rasmus Rask til H. C. Ørsted.

Meddelt af M. C. Harding.

I 1814 udgav H. C. Ørsted Skriftet: Tentamen nomenclaturæ chemicæ omnibus linguis Scandinavico-Germanicis communis. I Skriftet, der udkom i Anledning af Universitetets Reformationsfest, foreslaar Ørsted nye Betegnelser i de skandinaviske og germanske Sprog for en Række vigtige kemiske Stoffer. Forslagene er omhyggelig begrundede og har uden Tvivl kostet Ørsted lang Tids Overvejelse. Af det nedenfor gengivne Brev fra den 24-aarige Volontør ved Universitetsbiblioteket Rasmus Rask ser man saaledes, at Ørsted allerede før den 28. Januar 1812 har afæsket den unge Sprogforsker hans Mening om de tre vigtigste af de nye Betegnelser: Ilt, Brint og Ætse.

Brevet, der saavidt mig bekendt er det eneste opbevarede Brev mellem de to Videnskabsmænd, har jeg meddelt til »Danske Studier«, hvor det findes trykt i Aargang 1919 S. 71—73; men da det giver Bidrag til den kemiske Nomenklaturs Historie i Danmark, har det formentlig ogsaa nogen Interesse udenfor Sprogmændenes Kreds og gengives derfor her. Brevet opbevares paa Universitetsbiblioteket i København blandt H. C. Ørsteds efterladte Papirer.

Kjøbenh. d. 28. Jan. 1812.

Uagtet det langt fra ikke er noget betydeligt, der er faldet mig ind ved at eftertænke de 3 ny Ord. vil jeg dog tage mig den Frihed at skrive Hr. Professoren Resultatet eller det vigtigste deraf. Jeg haaber, De vil anse det som et Bevis paa, at jeg dog har tænkt derpaa, og til Undskyldning for Ubetydeligheden kan maaske Begrebernes Nyhed og Ejendommelighed saavel som Sprogets Beskaffenhed tjene mig, ti hvor intet er, der har Kejseren sin Ret forloren.

Imod Ilt eller Ildt kan siges, at der findes ingen saadan Endelse eller Afledningsmaade i Sproget hvor et Navneord dannes af et andet ved at sætte et *t* til, og hvor det nydannede faar Betydning af Princippet eller Grundstoffet til hint. Det er altsaa om ikke imod saa dog heller ikke efter nogen forhaandenværende Lighedsregel i Sproget. Alle Ord paa t er sikkert enten dannede af Tillægsord eller Gjerningsord og betegne snarere en abstrakt Egenskab eller Virkning end et concret Grundstof. Har jeg ikke fejlet heri saa kan vel Ordet næppe passere som godt dansk. — Men det er lettere at rive ned end bygge

Digitized by Google

op, jeg maa tilstaa, der har intet andet kundet falde mig ind end at tage det samme Ord Ild i en anden ældre Form og tillægge det vilkaarlig en saadan Betydning. Det hedder paa Islandsk e l d r, kunde man da ikke deraf tage (en) Eld (et Elde), at elde, eldet, E l d n i n g, med en Æ l d e, æ l d e s osv. kunde det ikke forveksles, ej heller med Ild. Vel kunde dette synes ligesaa uhjemlet af Sproget; men her optages ingen ny Afledningsendelse, ej heller anvendes nogen gammel paa brugstridig Maade. Her gjøres altsaa ikke den allermindste Vold paa Sprogets Indretning. Ej heller er det uden mange lignende Exempler i afledte Sprog at optage et gammelt Ord af Stamsproget med ny Betydning skjønt man allerede dengang havde det i anden Form. Saaledes have vi af isl. lopt gjort Loft, Luft og Lugt. Af Tysken have vi ligesaa optaget t r æ f f e, skjønt vi allerede havde d r æ b e o. m. f. Med Navne er det samme hyppig Tilfældet, de nyere ere altid nærmere Grundsproget, og tillige ansete som f o r n e m m e r e, f. Eks. Anders Andreas, Mads Mathias, Peter Peder Petrus o. m. fl. Det samme er ikke sjælden Tilfældet i Fr. og Engelsk f. Eks. spright og spirit. Det forekommer mig derfor at E l d har mindre imod sig og mere for sig.

B r i n d (eller B r i n d t) har det imod sig at alle de korte Afledsord af Verba betyde en Handling, Virkning el. desl., denne Fejl bliver tydeligere i den sidste Form Brindt lig Flugt, Ridt o. desl. hvorfor jeg og holder B r i n d bedre, det kunde anses som en Variant af Brand omtrent som Eld af Ild, kun skade at man formedelst de øvrige Afledninger ikke kan sige B r æ n d. Saaledes mener jeg altsaa at E l d og B r i n d nogenledes i Nødsfald kunde passere.

Dog burde man sikkert ikke saaledes danne eller optage ny Stammeord, uden højeste Nødvendighed; ti de ligge ganske uden for Orddannelsen i Sproget, hvilken blot gaar ud paa at danne Afledsord eller Sammensætninger, og den sidste Kilde er netop i vort Sprog den rigeste, men netop tillige den fjærneste fra ny Stammeords Dannelse.

Der antages sikkerlig og foruden disse endnu endel Stoffer, og disse benævnes vel som sædvanlig med Stof saasom: Lysstof, Varmestof, Kulstof, nu maatte vel alle disse ogsaa have ny Navne eller og man kunde beholde -stof ogsaa i hine to og sige I l d s t o f, B r æ n d s t o f. Dette vilde jeg anse for det allerbedste, dersom det paa nogen Maade gik an, at udtrykke de Ord der skulde afledes deraf ved en nogenledes taalelig Omskrivning, f. Eks. forbinde med, skille ved, Ildstof o. s. v.

Til Alkali, hvorom jeg har et meget dunkelt Begreb, har jeg ikke

Digitized by Google

kundet finde paa noget andet end en Ætse; ætse kan dog siges at være optaget i Sproget, og det passer her saa meget bedre som ætsende netop bruges om Alkalierne.

Endelig synes jeg at have bemærket at alle ny Ord af Fælleskjøn støder mindre end de af Intetkjønnet, man maatte vel altsaa sige en Ætse, ligesom og en Eld, en Brind, hvilket var saa meget mere nødvendig ved de sidste naar de skulde passere som et Slags Varianter af Ild, Brand. Man har virkelig tidt fejlet imod denne Regel ikke blot i ny Ord, men selv i gamle f. Eks. man har sagt et Punkt da dog en Punkt i Isl. Sv. Tysk overalt er af Fælleskjønnet ligesom en Synspunkt. — Hauch skriver ogsaa en Stof ventelig efter der Stoff, hvorfra det og ligefrem er taget. Dog dette vedkommer egentlig ikke denne Materie, jeg vil derfor slutte med at anbefale Dem

Deres
R. Rask.

P. Sc. Siden Alkalier modsættes Syrerne altsaa ikke passende har Navn tilfælles med dem, kunde man da ikke indskrænke Ordet Salte til at betegne Alkalier, og forkaste Ordet Sursalte, eller bruge det i stedet for Middelsalte. Dog da jeg har saa dunkelt et Begreb om disse Legemer eller Materier og deres Forholde, vèd jeg ikke om dette kan gaa an.

Fysik i Skolen.

Fysik og Sløjd. En Lampe-Fordelingstavle.

Af A. Thorup.

Da Ammoniumklorid og navnlig Kaliumdikromat under Krigen steg til de kendte enorme Priser, maatte vi i vor Fysiksløjd ophøre med at lave de Salmiak- og Kromsyreelementer, som vi brugte til Skoleforsøg*), og som Eleverne anvendte til deres Eksperimenteren hjemme med deres egne selvlavede Apparater. Vi gjorde saa Forsøg med forskellige Former af Lampemodstande, som kunde tage Strøm fra et Lampested eller en Stikkontakt og regulere den, saaledes at den kunde yde en passende Spænding og Strømstyrke til Skoleforsøg og til de Apparater, Eleverne fremstillede i Fysiksløjd. Den neden for beskrevne

*) Se »Fys. Tidsskr.« 14 Aarg. S. 76 og A. Thorup: »Fysik og Sløjd«, Gyldendal 1916.

Digitized by Google

Type er den, vi har anvendt mest og fundet mest praktisk. Eleverne har i de sidste to Aar lavet ca. 60 af den Slags til deres eget Brug hjemme.

Da den kan fremstilles af billigt Materiale og er saa enkel i Konstruktionen, at den uden Vanskelighed kan laves af enhver nogenlunde fingernem Lærer, har jeg tænkt mig, at den kunde have Interesse for en Del Fysiklærere, navnlig for de Fysiklærere, som ikke har en For-

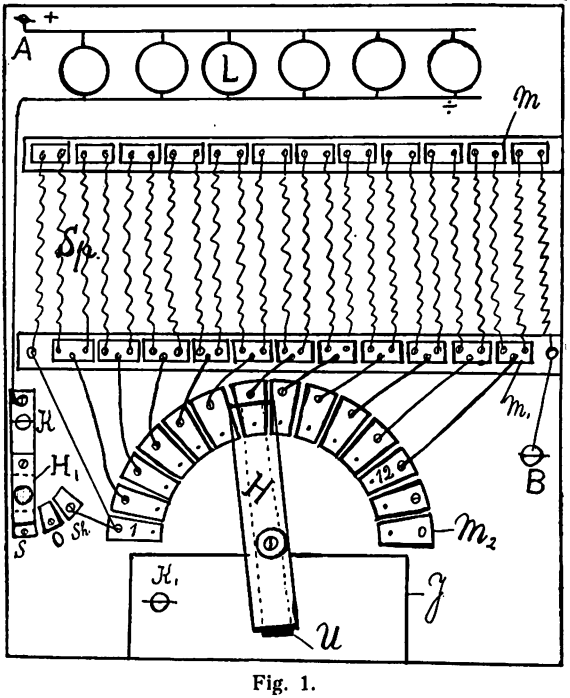


Fig. 1.

delingstavle til Raadighed paa Skolen, og for de Lærere, der gerne vilde give deres Elever Vejledning i at lave simple Fysikapparater.

Fig. 1 viser Apparatet set oven fra. Grundbrædtet er 45 × 34 × 2,5 cm, og de to Tværlister, som bærer Spiralerne *Sp*, er 33 cm lange og er formede som vist i Fig. 2. Ledningen fra Lampestedet eller fra en Stikkontakt sættes til Klemmeskruerne *A* og *B*, saaledes f. Eks. at + Ledningen sættes til *A* og ÷ Ledningen til *B*. Mellem + og ÷ Ledningen indskydes 6 Kultraadslamper *L*, og ÷ Ledningen føres hen til Klemmeskruen *K*, som er fastskruet gennem Messingstykket, der bæ-

Digitized by Google

rer det lille »Indstillingssving« H_1. Dette kan føres hen over Messingpladerne *O* og *Sh* og vil, naar det stilles paa *Sh*, lede Strømmen over i Spiralerne *Sp*. Hver af disse Spiraler bestaar af en ca. 0,8 mm tyk og ca. 2 m lang Konstantantraad, der har en Modstand paa 1,5 Ohm. De er snoede paa et særligt Spoleapparat, som vi anvender til Spoling af Traadruller til Elektromagneter; men de kan med Lethed snoes om en Jernstang paa ca. 0,6 cm Diameter. Spiralens Diameter vil saa

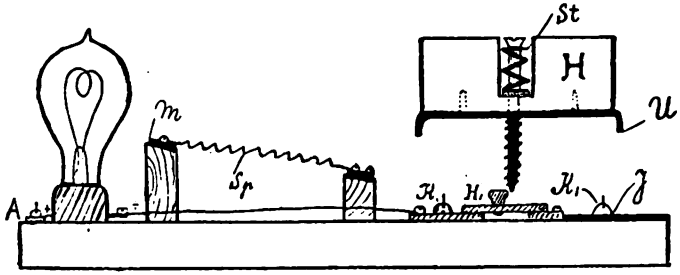


Fig. 2.

blive ca. 1 cm. Fig. 1 viser, hvorledes Spiralerne anbringes paa Messingstykkerne i Rækkerne *M* og M_1. Konstantanspiralerne er ved 0,7 mm tykke Kobbertraade forbundet med Messingpladerne M_2, som udgør den halvcirkelformige Figur. De anvendte Messingplader er alle 1 mm tykke, og Traadspiralerne og Kobbertraadene er forbundne med Messingpladerne ved Hjælp af Skruer.

»Reguleringssvinget« *H*, der glider hen over Messingpladerne M_2 og den fortinnede Jernblikplade *J*, er vist paa en særlig Tegning i Fig. 2. Den bestaar af en U-formet Messing- eller Jernbøjle *U*, der er skruet fast paa Træklodsen *H;* i denne er der boret et Hul i Midten til Jernskruen og Staalspiralen *St*. Ved Hjælp af denne Staalspiral og Jernskruen, som skrues fast i Grundbrædtet, kan *H* spændes fast mod Underlaget, saaledes at der kommer passende Kontakt.

Materialerne til Apparatet kan let skaffes til Veje for smaa Midler (dog er det vanskeligt i Øjeblikket at angive Prisen paa de enkelte Dele). Vi bruger 25-Lys Kultraadslamper, som er de billigste og giver Apparatet mere Strøm end Metaltraadslamper med samme Lysstyrke. Lampefatningerne kan laves af Metalgevindene fra brugte Lamper, idet man skærer dem op i den ene Side og støber dem fast i Gibs eller Cement. En Traadspiral kan paa lignende Maade anvendes og støbes i Gibs eller Cement for at undgaa Brudfare ved Gnistdannelse.

Digitized by Google

Jærnskruer overtrukket med Messing er lige saa gode som de meget dyrere Messingskruer. Klemmeskruerne *A*, *B*, *K* og K_1 laves af en Maskin-Messingskrue, hvori der er loddet en lille Metalplade i Kærven. (Se »Fysik og Sløjd« S. 17).

Apparatets Anvendelse.

Strømstyrken reguleres ved Indskydelse af Lamper. Er der een Lampe (25-Lys Kultraadslampe og 220 Volt), er Strømstyrken i Ledningen ca. 0,25 Amp., og den tiltager med denne Størrelse for hver Lampe, der indskydes, saaledes at den bliver ca. 1,5 Amp., naar alle 6 Lamper er indskudt. Anvendes 50-Lys Lamper eller forøges Lampernes Antal, kan Strømstyrken blive større, men i Almindelighed er 1,5 Amp. nok til de fleste af de Forsøg, det her drejer sig om.

Spændingsforskellen kan reguleres paa flere Maader. Naar H_1 staar paa *S* som Fig. 1 viser, og man indskyder et Apparat mellem *K* og K_1, saa er dette Apparat indskudt i Serie med Lamperne, og saa udskydes Modstandsspiralerne, naar *H* drejes fra Messingpladen 1 til 12 og indskydes, naar *H* drejes modsat Vej, idet Strømmen gaar fra K_1 gennem Jernpladen *J* over i Metalbøjlen *U* til Messingpladen og videre til *B*.

Som Regel har man mest Brug for lav Spænding — fra 2 à 3 Volt og indtil 10—20 Volt — og en Strømstyrke paa 1—2 Amp. til de fleste Skoleforsøg. Denne Spænding kan man faa ved at indskyde det Apparat, man vil benytte, i Shunten, i Ledningen mellem *K* og K_1, naar H_1 er ført over paa Pladen *Sh*. Strømstyrken reguleres stadig ved Antallet af Lamper, der er indskudt. Spændingsforskellen reguleres ved Hjælp af Strømstyrken og ved Indskydelse af Modstand mellem Shuntens Endepunkter. Modstanden indskydes ved at dreje *H* fra Messingpladen 1 til Messingpladen 12.

Staar *H* f. Eks. paa Messingpladen 2, og er der 2 Lamper indskudt (0,5 Amp.), saa er Modstanden 3 Ohm og Spændingen

$$= 3 \text{ Ohm} \times 0{,}5 \text{ Amp} = 1{,}5 \text{ Volt.}$$

Er der indskudt 6 Lamper, er Strømmen 1,5 Amp., og saa er Spændingen

$$= 3 \text{ Ohm} \times 1{,}5 \text{ Amp.} = 4{,}5 \text{ Volt.}$$

Drejes *H* fra Messingpladen 1 mod Messingpladen 12, vokser

Digitized by Google

Spændingen proportionalt med den indskudte Modstand og naar til ca. 54 Volt, naar *H* hviler paa Pladen 12, og Strømstyrken er 1,3 Amp.

$$\text{Spændingen} = 36 \text{ Ohm} \times 1{,}5 \text{ Amp.} = 54 \text{ Volt.}$$

Ønskes højere Spænding, kan man indskyde flere Spiraler.

Naar alle 6 Lamper er indskudt i Ledningen, og *H* staar paa Messingpladen 2, er Strømstyrken noget mindre end, naar *H* staar paa Messingpladen 12, fordi den mellemliggende Modstand mellem 2 og 12 svækker Strømmen i Shunten; men dette spiller ingen Rolle for Apparatets Anvendelse.

Dette Apparat har vi lavet i 3. og 4. Mellemskoleklasse og i Realklassen og har haft megen Glæde af det. Det er ikke alene et nyttigt og kærkomment Apparat for Drengene, men det er ogsaa et let haandterligt og et meget lærerigt Apparat, fordi det giver dem praktisk Begreb om Enhederne Volt, Ampère og Ohm, og det gør dem det muligt at anvende alle deres selvlavede elektriske Apparater alle Vegne, hvor de har Ligestrøm.

Et Varmeudvidelsesapparat.

Af Helge Petersen.

Ved en Temperaturforskel paa 100° og en Længde af Forsøgslegemet paa ca. 30 cm bliver Varmeudvidelsen for mange Metallers Vedkommende tilstrækkelig stor til, at den kan maales direkte med en Mikrometerskrue; og man vil ved Anvendelsen af en saadan kunne undgaa det sædvanlige Arrangement med Vægtstænger til at »forstørre« Udvidelsen med, der dog i nogen Grad tilslører det centrale ved Forsøget. I det følgende skal beskrives et Apparat, der er konstrueret efter dette Princip.

Apparatet er i det væsentlige at betragte som en Mikrometerskrue med usædvanlig stor Spændvidde. I den skematiske Figur 1 er *a* en noget over 30 cm lang Metalstang, til hvis Ender der er fastgjort to ret svære »Lapper«, *b;* i den ene er der indlagt en Cyklekugle, og modsat den, i den anden Lap, findes Mikrometerskruen. Forsøgslegemet er tildannet som en c. 30 cm lang og 1 cm tyk Stang, *d* i Fig. 1; den er omgivet af et 5—6 cm vidt Glasrør med 2 Afløbsrør og holdes paa

Digitized by Google

Plads midt i dette af to tynde Korkskiver, saaledes at Stangens Ender netop stikker ud gennem disse. Røret med Stangen lægges paa Plads paa et Par Gafler, saa at denne befinder sig nøjagtig mellem Cyklekuglen og Mikrometerskruens Endeflade (se Fig.). Hele Systemet *bab* er fastskruet til to ca. 10 cm høje Søjler; Skruehovederne ses paa de to Lapper. (Den ene Skrue er dog ikke spændt helt til, ligesom det

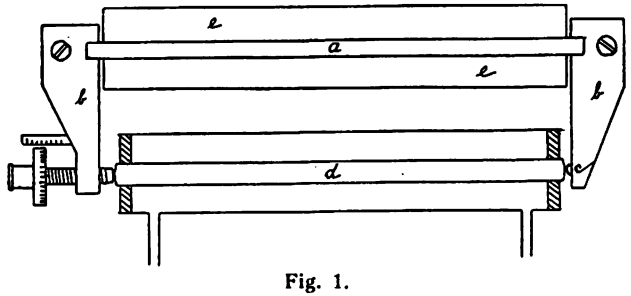


Fig. 1.

tilsvarende Hul i *b* er rigeligt stort, for at Temperaturforandringer ikke skal bøje *bab*). Om *a* er hængt en Blikbeholder, *e*, der omslutter den i hele dens Længde.

Naar Apparatet skal benyttes, fyldes først *e* og Glasrøret om *d* med skrabet eller fint knust Is (Sne). Glasrøret med *d* lægges paa Plads og forskydes forsigtigt til *d* netop berører Cyklekuglen; derefter indstilles Mikrometerskruen til Berøring med *d*'s anden Ende, og dette gentages, indtil Aflæsningen er konstant; *a* og *d* antages da begge at have Temperaturen 0°. Der ledes saa Damp af kogende Vand ind i Glasrøret om *d*, hvorved Isen efterhaanden smelter og Stangen opvarmes. Man maa her huske at løsne Mikrometerskruen først, for at ikke Stangens Udvidelse skal bøje *bab*. Naar Isen er smeltet og Dampen begynder at staa kraftigt ud af det andet Afløbsrør, foretages paa ny Indstillinger med Mikrometerskruen, indtil konstante Aflæsninger; *d* antages da at have Temperaturen 100°; eventuel kan et Thermometer stikkes ind gennem den ene Korkskive og anbringes med Beholderen i Berøring med *d*.

Det er selvfølgelig af stor Vigtighed, at *a* under hele Forsøget holdes paa 0°; det maa derfor stadig paases, at den er helt tildækket af Is, bortsmeltet Is maa fyldes efter, o. s. v., hvorfor Beholderen e ogsaa er forsynet med et let aftageligt Laag.

Digitized by Google

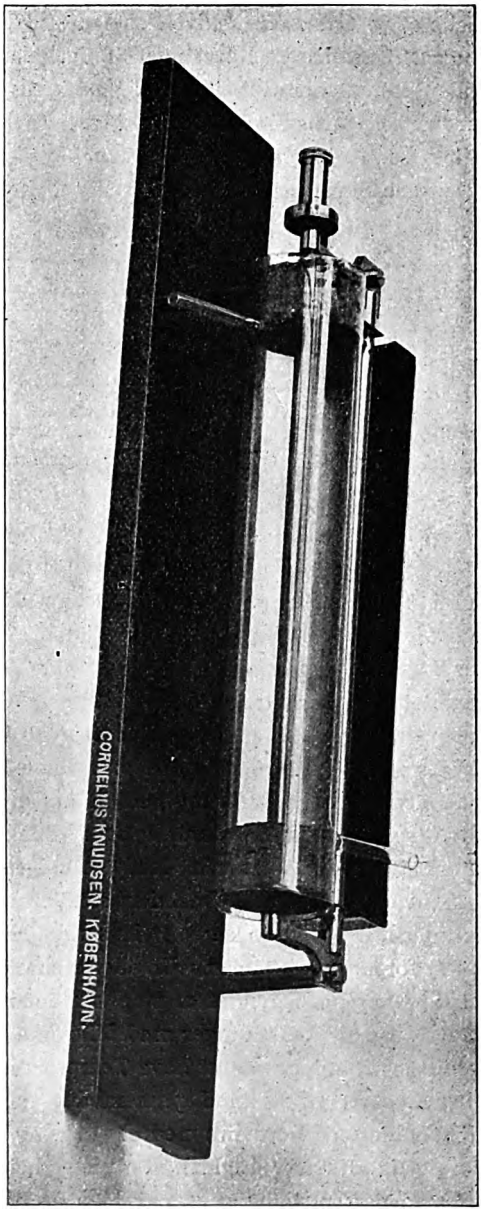


Fig. 2.

Digitized by Google

Apparatet har med Held været anvendt til Øvelsesbrug i Gymnasiet; fra en Rapport hidsættes her flg. Maaling: Mikrometerskruens Stilling, da Stangen var 0°: 5.81; Mikrometerskruens Stilling, da Stangen var 100°: 6.36; heraf Udvidelsen = 0.55 mm. Stangens Længde = 30.2 cm, altsaa $\alpha = \frac{0.055}{30.2 \times 100} = 0.0000182$ (Stangen var af Kobber)

Fig. 2 viser selve Apparatet; det er fremstillet af Firmaet Corn. Knudsen.

Svenske Eksamensopgaver.

Uppgifter i Fysik, Studentexamen V. T. 1919.

1. *G* är tyngdpunkten i en homogen, jämntjok, triangulär skiva *ABC*. Visa, att de krafter, som till storlek och riktning representeras av linjerna *GA*, *GB* och *GC*, hålla varandra i jämnvikt.

2. Från en punkt på den horisontella marken utslungas en kula mot ett vertikalt föremål, som står på marken 200 m från kastapparaten, och nedfaller vid föremålets fot. Kulan utslungas i en riktning, som bildar 34° med horisontalplanet. Huru högt ovan marken ligger den punkt på föremålet, som kulan träffar, om den med samma hastighet utslungas i en riktning, som bildar 40° med horisontalplanet?

3. Ett upptill slutet och nedtill öppet cylindriskt, jämntjockt rör, som är 600 mm långt, nedsänkes i vertikal ställning i en sjö till sådant djup, att vatten intränger till $^4/_5$ av rörets längd. Huru långt under vattenytan befinner sig rörets nedersta ända? Luftens temperatur över vattenytan är 20° och vattnets temperatur vid djupet i fråga 10°. Barometertrycket var vid försöket 720 mm. Vattnets sp. vikt kan överallt anses vara lika med 1. Luftens utvidgningskoefficient är $^1/_{273}$ och kvicksilvrets sp. vikt $13,_6$. Trycket av den i röret befintliga vattenångan kan försummas.

4. Två stavar, vilkas längder vid 0° äro 50 cm vardera, den ena av zink, den andra av glas, stå nära intill varandra vertikalt på ett fast. horisontellt underlag. I övre ändan äro båda stavarna försedda med skarpa, horisontella eggar, vilka äro sinsemellan parallella och vinkelräta mot sammanbindningslinjen mellan stavarnas ändpunkter. Avståndet mellan dessa egggar är 2 cm. På eggarna vilar en liten planspegel, vilken träffas (vinkelrätt) av ett svagt konvergerande vertikalt

Digitized by Google

strålknippe, vilket på en horisontell skala, belägen 1 m ovanför spegeln, alstrar en skarp ljuslinje (parallell med eggarna). Då båda stavarna omgivas med smältande is, faller nämnda ljuslinje på skalans nollpunkt. Om stavarna omgivas med vatten av 50°, flyttar sig ljuslinjen $5,_{25}$ cm (åt glasstavens sida). Zinkens längdutvidningskoefficient är $0,_{000030}$, beräkna glasets.

5. Ett kameraobjektiv skall bestå av två tunna, lika, positiva linser. Vardera linsens brännvidd är 20 cm. Huru stort skall avståndet mellan linserna vara, för att en skarp bild av förmålet, som anses ligga på oändligt avstånd, skall falla på plåten, om dennas avstånd från närmaste lins skall vara 9 cm?

6. I en kalorimeter, som innehåller vatten, omrörare och termometer, är införd en smal platinatråd, elektriskt isolerad från vattnet. Man har funnit, att en värmemängd av 200 gr. kalorier förmår höja temperaturen i kalorimetern med dess innehåll jämt 1°. I kalorimetern, vilkens temperatur är $18°,_0$, nedlägges en liten isbit av 0°. Efter dennas smältning befinnes temperaturen i kalorimetern vara $15°,_{44}$. Genom en elektrisk ström av $1,_{15}$ amp., som sändes genom platinatråden, uppvärmes därefter kalorimetern, och efter 34 sek. har denna med sitt innehåll återfått sin ursprungliga temperatur av $18°,_0$. Huru stort är motståndet i platinatråden, då man vet, att isens smältvärme är $79,_2$ och att en elektrisk ström av 1 amp. i en ledning av 1 ohms motstånd på en sek. utvecklar en värmemängd av 0,24 gr.kal.?

7. Ett ackumulatorbatteri, vars inre motstånd kan försummas, slutes medelst en jämntjock, homogen metalltråd, vars motstånd är 2 ohm per meter. Metalltrådens ena ända förenas vidare med den ena elektroden i en elektrolysapparat, vars motstånd är 20 ohm och i vilken genom polarisation uppstått en elektromotorisk kraft av $1,_{40}$ volt. Elektrolysapparatens andra elektrod skall förenas med en punkt på metalltråden så belägen, att en ström av $0,_{01}$ amp. går genom elektrolysapparaten i motsatt riktning mot den ström, som polarisationen skulle framkalla. Vilken är denna punkt, då strömstyrkan i batteriet efter inkopplingen av elektrolysapparaten är 1 amp.? Motståndet i ledningarna mellan elektrolysapparaten och metalltråden kan försummas.

Resultater: Nr. 2: $9,_2$ m. Nr. 3: 38 m. Nr. 4: $0,_{000009}$. Nr. 5: $3,_6$ cm. Nr. 6: $48,_7$ Ohm. Nr. 7: 81 cm.

Digitized by Google

Anmeldelser.

A. Sommerfeld: Atombau und Spektrallinien. Braunschweig 1919, Fr. Vieweg & Sohn. 550 Sider med 103 Figurer. Pris indb. Mk. 28,60.

Den næsten overvældende Udvikling, som vort Kendskab til Atomernes Indre har undergaaet i de allersidste Aar, har allerede bragt saa betydningsfulde Resultater og kræver saa gennemgribende nye Synspunkter ved næsten alt videre Arbejde inden for Fysiken og Kemien, at enhver Fysiker og Kemiker tvinges til at sætte sig ind i det mindste i de grundlæggende Arbejder. Men dette stiller som bekendt betydelige Krav til baade matematisk og fysisk Forhaandsviden. Det er derfor et meget fortjenstfuldt Arbejde, Prof. Sommerfeld har paataget sig ved at skrive en Bog, som saa vidt muligt uden at stille saadanne Krav, alene byggende paa et elementært Grundlag, søger at give Læseren en fuldstændig Oversigt over, hvad der hidtil er naaet, hvorledes det er naaet, og hvor godt det empirisk er begrundet.

Her kan kun gives en kort Oversigt over Indholdet. I 1. Kap. — Forberedende Kendsgerninger — omtales Ioner og Elektroner, Katode-, Kanal-, Røntgen- og radioaktive Straaler og Grundlaget af Læren om de radioaktive Stoffer. I 2. Kap. — Grundstoffernes naturlige System — omtales først selve det periodiske System og Rutherfords Atomhypotese med en Række simple Eksempler paa Atommodeller. Videre omtales Isotopteorien og de radioaktive Forskydningssætninger og endelig Sondringen mellem Kerne- og Elektronfysik. 3. Kap. — Røntgenspektrene — behandler udførligt Laues Opdagelse af Røntgenstraalernes Bøjning og Resultaterne angaaende Krystalstrukturer samt Røntgenspektroskopiens nuværende Metoder. Derefter kommer en omfattende Oversigt over Erfaringsresultaterne (*K*-, *L*- og *M*-Serierne, Emissions- og Absorptionsgrænser osv.) Først i 4. Kap. — De optiske Seriespektre— indføres Kvanteteorien, som tidligere kun har været strejfet; den indføres naturligvis i den af Sommerfeld og hans Elever anvendte Form. Dernæst gives en udmærket Oversigt over vort empiriske Kendskab til Brintspektret og Seriespektrene i det hele taget (Kombinationsprincipet). Saaledes forberedt gaar man til en udførlig Fremstilling af Bohrs Teori for Brintspektret og de brintlignende Spektre (af He^+, Li^{++} o. s. v.), samt det, der hidtil kan siges om de andre Spektre (den spektroskopiske Forskydningssætning, Ioniseringspotentialer m. m.) I Kap. 5 — Teori for Finstrukturen — behandles den af Relativitetsteorien krævede Finstruktur for baade optiske og Røntgenspektrallinier med en Indled-

Digitized by Google

ning om selve Relativitetsteorien. Endelig behandles i Kap. 6 — Bølgeteori og Kvanteteori — Zeeman- og Stark-Effekten. Her omtales Rubinowicz' Udvalgsprincip og Polarisationsregel og det Tilløb til en »Forsoning« mellem Kvanteteori og Bølgeteori, som efter Sommerfelds Mening er naaet ved at sammenholde Straalingens Impulsmoment med Ændringen i Atomets Impulsmoment ved Straalingens Udsendelse. Denne Tanke er som bekendt samtidig og uafhængigt fremsat af Bohr og Rubinowicz. Derimod har Sommerfeld ikke kunnet naa at tage Hensyn til den nye systematiske Fremstilling af Kvanteteorien, som Bohr for Tiden giver i Vid. Selsk. Skr. Sommerfeld synes tillige at tage Afstand fra disse sidste Arbejders Hovedresultat, Bohrs Analogi- eller rettere Korrespondanceprincip, der vil blive omtalt i et følgende Hefte af Fys. Tidsskrift, og hvorved der ikke alene vindes et snævrere Udvalgsprincip for de mulige Elektronovergange i det emitterende Atom og en Polarisationsregel, men tillige en Bestemmelse af Intensiteten af de ved de forskellige mulige Overgange udsendte Spektrallinier. Skønt Erfaringen synes at tale afgjort for disse Bohrs Resultater, hvilket Sommerfeld ogsaa delvis anerkender, afvises Korrespondanceprincipet som værende fremmed for Kvanteteorien, en Begrundelse man vanskeligt kan tillægge syndelig Vægt paa en Tid, da Kvanteteorien endnu i høj Grad er under Udvikling.

Det kan naturligvis ikke undgaas, at der stilles større Krav til matematisk Viden hos Læseren, efterhaanden som Fremstillingen skrider frem; det ligger i de behandlede Problemers Natur. Det vigtigste af det matematiske Apparat, der kræves, er samlet i en Række Tilføjelser bag i Bogen; her findes tillige korte Afsnit om Molekylmodeller (Baandspektre) og Kernemodeller. Tillige er der et udførligt Register. Det bør ogsaa fremhæves, at Bogen er meget smukt udstyret helt uden Krigspræg.

Naar en saa omfattende Bog skrives om et Emne, hvormed der arbejdes saa intensivt, som det er Tilfældet for Tiden med dette, er det klart, at adskilligt af Bogens Indhold allerede er noget forældet ved dens Udsendelse. For hvert Aar Affattelsen af Bogen blev udskudt, vilde Behandlingen kunne blive mere tilfredsstillende. Saa meget mere maa det paaskønnes, at Affattelsen ikke er bleven udskudt, thi som Bogen nu foreligger, vil den blive en uundværlig Haandbog til den største Nytte og Glæde for alle, der interesserer sig for eller har Brug for Kendskab til det Emne, den behandler, og som for Tiden overskygger alt andet i Fysiken og Kemien.

H. M. H.

Digitized by Google

Luftstraalen og dens Anvendelse til Frembringelse af Lydbølger.*)

Af

Jul. Hartmann.

Lufts Udstrømning af en Beholder.

I det efterfølgende skal der fortælles om en ny Metode til Fremstilling af Lydsvingninger, særlig Svingninger med meget højt Periodetal. Metoden gør Brug af en Luftstraale med den ejendommelige Struktur, der fremkommer, naar Udstrømningstrykket ligger over en vis Grænse. Vi vil derfor begynde med at skildre Lufts Udstrømning og Luftstraalens Bygning ved saadanne Tryk.

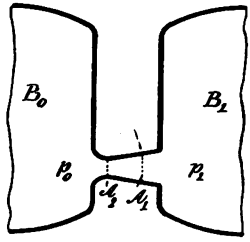


Fig. 1.

Lad B_0 og B_1 i Fig. 1 betegne to Beholdere, der er forbundet ved et kort Rør af en eller anden Form. I B_0 vedligeholdes et Tryk p_0, i B_1 et Tryk p_1 mindre end p_0. Luften vil da stationært strømme fra B_0 til B_1. Paa et bestemt Sted i Luftstrømmen, f. Eks. i Tværsnittet A_1, vil der herske en bestemt Tilstand, der kan karakteriseres ved Luftens Tryk p, dens Tæthed ϱ, dens Temperatur T samt ved Luftdelenes Hastighed w paa dette Sted. Dersom man ser bort fra Luftens indre Gnidning og dens Var-

*) Foredrag holdt i Selskabet for Naturlærens Udbredelse Onsdag den 7. April 1920.

Digitized by Google

meledning, kan man, naar Luftens Tilstand i B_0, er kendt, gøre fuldstændig Rede for Tilstanden i ethvert Punkt af Røret. Strømningsforholdene er ret ejendommelige. Tænker man sig p_0 holdt konstant men p_1 varieret fra Nul op til p_0, vil Strømningsforholdene blive fuldkommen forskellige, eftersom p_1 ligger under eller over en vis Værdi, det kritiske Tryk p_m, der ved atmosfærisk Luft er meget nær lig $\frac{p_0}{2}$. Ligger p_m under dette Tryk, er det for den udstrømmende Luftmasses Vedkommende ganske ligegyldigt, hvad p_1 er. Det ligger i, at der i dette Tilfælde i Rørforbindelsens mindste Tværsnit, altsaa A_2 i Fig. 1, altid indstiller sig et Tryk lig det kritiske, hvilken Værdi Trykket end har i B_1. Som Følge heraf har Luften ogsaa altid samme Tilstand og samme Hastighed i det mindste Tværsnit, og følgelig vil den Masse, der passerer Tværsnittet, altid være den samme. Denne Masse er jo nemlig givet ved $M = S \cdot w \cdot \varrho$. I det hele taget er Forholdene i ethvert Punkt, der ligger til venstre for A_2 i et og alt ens for alle Værdier af p_1 mindre end p_m. Hvad Hastigheden i det mindste Tværsnit angaar, er der det mærkelige ved den, at den netop er lig Lydhastigheden ved den Tilstand, der raader i dette Tværsnit. Til højre for det mindste Tværsnit i Fig. 1 vil Hastigheden være større end Lydhastigheden. Saaledes er Forholdene, naar $p_1 < p_m$. Er $p_1 > p_m$ ændres Luftens Tilstand og Hastighed overalt i Forbindelsesrøret, naar p_1 ændres. I intet Tværsnit naas nu Lydhastigheden. Idet p_1 nærmer sig til p_0, nærmer Hastigheden sig overalt til Nul.

Det her anførte gælder nu naturligvis ogsaa for Lufts Udstrømning fra en Beholder gennem et Hul eller Boring. Hvis Boringen har den Profil, der er vist i Fig. 2, vil selve Mundingen A_2 blive Luftstrømmens mindste Tværsnit*). Er det ydre Tryk mindre end det kritiske, vil Delene i Mundingen altsaa have Lydens Hastighed, og Trykket vil her være det kritiske. Hvis det ydre Tryk er større end det kritiske, bliver Trykket i Mundingen A_2 lig det ydre Tryk.

Grafisk kan man give meget anskuelige Billeder af de nu beskrevne Forhold. I Fig. 3 a ses en Fremstilling af Variationen af

*) Figuren fremstiller en uendelig kort cylindrisk Boring med afrundet indre Kant.

Digitized by Google

Trykket p i Mundingen af Straalehullet med det ydre Tryk p_1. Saa længe $p_1 < p_m$, fremstilles p ved en ret Linie parallel med Abscisse-

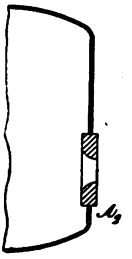


Fig. 2.

aksen og med Ordinaten p_m. Herefter fremstilles p ved en ret Linie, der danner Vinklen 45° med Akserne. I Fig. 3 b er Variationen af den pr. Sek. udstrømmende Masse M afbildet i dens Afhængighed af det ydre Tryk. Op til p_m er M altsaa konstant, hvorefter M falder af mod Nul..

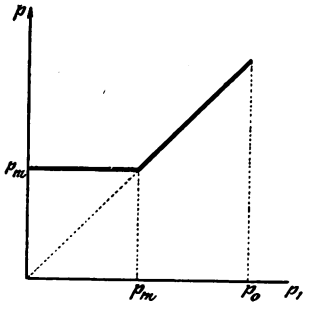


Fig. 3 a.

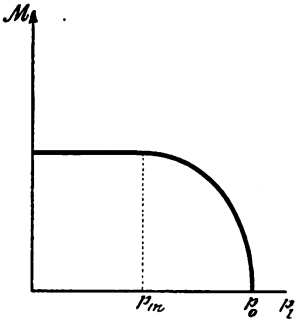


Fig. 3 b.

Formler for det kritiske Tryk, den udstrømmende Luftmasse m. m.

Der skal herefter angives Formler til Beregning af den udstrømmende Luftmasse m. m. Formlerne er tilnærmede, idet de er udledt under Forudsætning af, at Strømningen foregaar tabfrit, d. v. s. uden Gnidning og uden Udveksling af Varme med Omgivelserne. Det skal dog bemærkes, at Udtrykkene meget ofte vil vise sig at være tilstrækkelig nøjagtige for de Anvendelser, man gør af dem i Praksis.

Den Hastighed w, Luftstraalens Dele vil opnaa ved Strømning

Digitized by Google

fra et Sted, hvor Trykket er p_0, til et Sted, hvor det er p, vil være givet ved Ligningen

$$\tfrac{1}{2}w^2 = \int_p^{p_0} v dp, \tag{1}$$

hvor v betegner Voluminet af 1 g af Luften. Da Luftens Rumfangsforandringer under Strømningen antages at foregaa uden Varmeudveksling, altsaa adiabatisk, gælder for v Ligningen

$$p \cdot v^{\varkappa} = p_0 \cdot v_0^{\varkappa}, \tag{2}$$

hvor $\varkappa$ er Forholdet mellem Luftens Varmefylde c_p ved konstant Tryk og dens Varmefylde c_v ved konstant Rumfang. Dette Forhold er ved atmosfærisk Luft 1,41. Størrelsen v_0 betegner naturligvis Rumfanget af 1 g af Luften i Beholderen med Trykket p_0. Indsættes v taget fra (2) i (1) faas for Hastigheden w Udtrykket

$$w = \sqrt{2\frac{\varkappa}{\varkappa - 1} v_0 p_0 \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}\right)}. \tag{3}$$

Hvis S er Tværsnitsarealet af Mundingen i Straalehullet Fig. 2, vil den Masse, der pr. Sek. strømmer ud, være

$$M = \frac{S \cdot w}{v_1},$$

hvor v_1 er Voluminet pr. g af Luften i Mundingen, og w Hastigheden samme Sted. Den sidste Størrelse faas af (3) ved for p at indsætte Trykket i Straalehullet. Den første bestemmes af (2) ved her for p at sætte samme Tryk. Beholdes foreløbig Betegnelsen p for Trykket i Straalehullet faas for M Udtrykket

$$M = S\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\varkappa}} \cdot \sqrt{2\frac{\varkappa}{\varkappa - 1} \cdot \frac{p_0}{v_0} \cdot \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}\right)}. \tag{4}$$

Dersom det ydre Tryk er mindre end det kritiske, faas M altsaa ved for p at sætte det kritiske Tryk p_m. Dette Tryk er netop det, der gør M til Maximum; p_m er i Overensstemmelse hermed bestemt ved

Digitized by Google

$$p_m = \left(\frac{2}{\varkappa + 1}\right)^{\frac{\varkappa}{\varkappa - 1}} \cdot p_0 \tag{5}$$

eller, naar $\varkappa = 1{,}41$, ved

$$p_m = 0.525\, p_0. \tag{5'}$$

Indsættes p_m i (4), faas

$$M = S \cdot \left(\frac{2}{\varkappa + 1}\right)^{\frac{1}{\varkappa - 1}} \cdot \sqrt{2 \frac{\varkappa}{\varkappa + 1} \cdot \frac{p_0}{v_0}}. \tag{6}$$

Vi beregner til Eksempel den Masse Luft, der pr. Sek. strømmer ud af et Hul paa 1 mm² fra en Beholder med Trykket 5 kg/cm². Det ydre Tryk antages lig 1 kg/cm². Det er altsaa lavere end det kritiske, som er 2,625 kg/cm². Den udstrømmende Luftmasse findes ved (6), idet man indsætter følgende Værdier: $S = 0{,}01$ cm², $\varkappa = 1{,}41$, $p_0 = 5000 \cdot 981$ dyn./cm² samt for v_0 den Værdi, der beregnes af Tilstandsligningen for Luften i Beholderen. Har Luften her Temperaturen t er v_0 givet ved

$$p_0 v_0 = p_0' v_0' \cdot (1 + \alpha t), \tag{7}$$

hvor v_0' betegner Rumfanget af eet g Luft ved Temperaturen 0 Grader og Trykket 1 kg/cm². For atmosfærisk Luft er v_0' lig $\frac{1}{0.001249}$. Antages det, at t er lig 20°, bliver

$$v_0 = \frac{1}{0.001249} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{293}{273} = 171{,}6 \text{ cm}^3,$$

hvorefter man af (6) finder

$$M = 1{,}169 \text{ g/Sek.}$$

Denne Luftmasse har ved et Tryk af 5 kg/cm², altsaa i Beholderen, et Volumen bestemt ved

$$V_s = 1.169 \cdot v_0 = 1.169 \cdot 171{,}6 = 200 \text{ cm}^3$$

Digitized by Google

Dette er altsaa det Volumen, der strømmer ud pr. Sek. Hvis man har en Flaske paa 20 l fyldt til 200 kg/cm², vil Luftmassen i Flasken ved 5 kg/cm² fylde 800 l, og den vil altsaa kunne vedligeholde den betragtede Luftstraale i $\frac{800000}{200} = 4000$ Sek., d. v. s. i godt en Time.

Dersom man er interesseret deri, kan man endnu beregne andre Egenskaber ved Strømningen. For Eks. kan man bestemme Luftens Tilstand i Straalehullets Munding, naar det ydre Tryk er mindre end det kritiske Tryk. Trykket i Mundingen var da lig det kritiske Tryk. Rumfanget af et Gram Luft vil være bestemt ved (2), altsaa ved

$$v_m = \left(\frac{p_0}{p_m}\right)^{\frac{1}{\varkappa}} \cdot v_0 = \left(\frac{\varkappa + 1}{2}\right)^{\frac{1}{\varkappa - 1}} \cdot v_0. \qquad (8)$$

Heraf faas

$$v_m = 1.575 \cdot v_0 = 270.2 \text{ cm}^3.$$

Tætheden $\varrho_m = \frac{1}{v_m}$ bliver 0.00370.

Den absolute Temperatur T_m bestemmes ved Formlen

$$\frac{T_m}{T_0} = \left(\frac{p_m}{p_0}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}} = \frac{2}{\varkappa + 1}. \qquad (9)$$

Idet $T_0 = 293$ bliver $T_m = \frac{2}{2.41} \cdot 293 = 243^0$ eller -30^0.

Luftstraalens Struktur, naar det ydre Tryk er mindre end det kritiske.

Vi skal herefter betragte Strukturen af den Luftstraale, der dannes ved et ydre Tryk mindre end det kritiske. Lettest tilgængelig for Undersøgelse er en Straale, der strømmer fra en Beholder med Trykluft ud i det fri. Skal det ydre Tryk i dette Tilfælde være lig det kritiske, maa Trykket i Beholderen i Følge Formlen (5′) pag. 101 være 1,9 Atm., Overtrykket altsaa 0,9 Atm. Vi vil antage, at Overtrykket overstiger denne Værdi, men at det dog ikke er mere end nogle faa Atmosfærer.

Den Luftstraale, man da faar, er karakteristisk ved, at Hastigheden af dens Dele er lig eller større end Lydens ved den Tempera-

Digitized by Google

tur, der hersker paa det paagældende Sted af Straalen. Det maa i denne Forbindelse erindres, at Lydens Hastighed er uafhængig af Trykket men proportional med Kvadratroden af den absolute Temperatur. I Forbindelse med, at Hastigheden overskrider Lydhastigheden, staar Straalens ejendommelige Struktur. Lige efter, at Luften har passeret Straalehullet, udvider den sig stærkt. Herved synker Trykket i Straalen ned under det ydre Tryk, hvorefter det udfører en Række dæmpede Svingninger om dette Tryk. Forholdene er anskueliggjort i Fig. 4, hvor Abscissen er Afstanden fra Straalehullet, Ordinaten

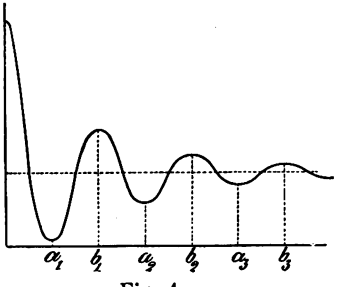


Fig. 4.

Trykket i Straalen. Variationerne i Trykket minder, som det ses, ganske om Pendulets eller Snovægtens dæmpede Svingninger. Prandtl*) har ført Fænomenet tilbage til de saakaldte Machske Bølger, der kendes fra et Projektil, som flyver gennem Luften med en Hastighed større end Lydens. Fig. 5 a viser et Billede af disse Bølger. Ud fra Projektilets Spids breder der sig en kegleformet Fortætningsbølge, der ganske svarer til de to Bølgekamme, der udgaar fra Stævnen af et Skib i Fart. Den halve Topvinkel α er bestemt ved

$$\sin \alpha = \frac{c}{w},$$

hvor c er Lydens og w Projektilets Hastighed. At Vinklen bestemmes saaledes, er let at forstaa, naar man tænker sig Bølgens Overflade fremkommen ved Interferens af kugleformede Elementarbølger udgaaet fra de paa hinanden følgende Punkter af Projektilets Bane. Et Sekund før Billedet i Fig. 5 a blev taget, befandt Projektilets Spids

*) L. Prandtl. Physikalische Zeitschrift 5, pag. 599, 1904 og 8, pag. 23, 1907.

Digitized by Google

sig i Punktet A og udsendte herfra en Bølge, hvis Radius i det afbildede Øjeblik er vokset til Længden c. Samtidig er Projektilet naaet Stykket w frem i sin Bane. De i det sidste Sekund udsendte Elementarbølger vil tilsammen have dannet en kegleformet Bølge som den antydede, fordi Elementarbølgerne vil være naaet ud til Afstande proportionale med Udgangspunkternes Afstande fra Spidsen af Projektilet i den viste Stilling. Nu kan man tænke sig det Mach'ske Fænomen

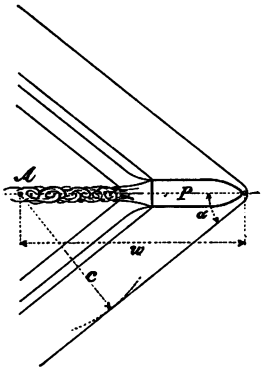


Fig. 5 a.

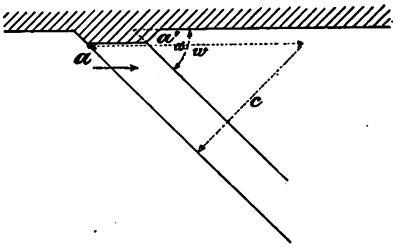


Fig. 5 b.

vendt om, altsaa at en Luftstrøm med en Hastighed større end Lydens stryger forbi en Hindring, f. Eks. en Ujævnhed $a\ a'$ i en fast Væg. Fra Hindringen maa der da ogsaa udgaa en Fortætningsbølge, der danner en Vinkel α med Strømningsretningen, hvor α er bestemt ved samme Udtryk som før, naar w betyder Luftstrømmens Hastighed. I Fig. 5 b er Bølger af denne Art antydet udgaaende fra Hindringen $a\ a'$. Pilen betegner Luftens Strømningsretning. Tilsvarende Bølger vil være kendt fra en Grøft med hurtigt rindende Vand. De udgaar her fra Breddens Ujævnheder. Prandtl har benyttet Luftbølgerne til Studium af Hastighedsvariationerne i Turbinemundstykker (Lavalske-Mundstykker), og han har herved paavist, at Strømningshastigheden først efter at det snævreste Tværsnit er passeret, naar op over Lydhastigheden, saaledes som det følger af den ovenfor antydede Teori. I Fig. 6 gengives efter Prandtl et Fotografi af Strømningen gennem et Mundstykke med rektangulært Tværsnit. De to Sider i Mundstykket var dannet af Spejlglas for at muliggøre den fotografiske Optagelse. De to andre Sider var gjort ru ved Filing. Fra Ujævnhederne udgaar Bøl-

Digitized by Google

gerne, to Sæt, et fra hver Sideflade. Som det ses, begynder Bølgerne først efter, at Luften har passeret det snævreste Sted. For at naa til en Forstaaelse af de periodiske Variationer i Luftstraalen undersøgte Prandtl teoretisk, hvad der sker, naar en Parallelstrømning med en

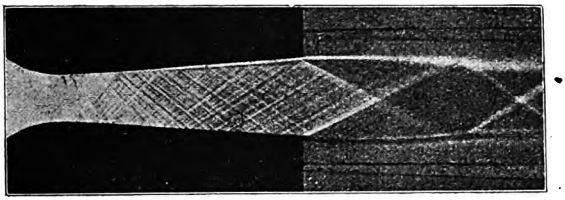


Fig. 6.

større Hastighed end Lydhastigheden passerer en Kant K som den i Fig. 7 antydede og derved træder fra et Rum med Trykket p_0 ud i et Rum med det lavere Tryk p_1. Luftstrømmen lider da en Art Brydning. Overgangen fra den ene Parallelstrømning til den anden sker

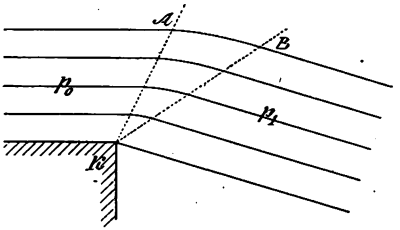


Fig. 7.

i det kileformede Rum $A\,K\,B$. Dette Rum har Karakter af en Bølge udgaaende fra Kanten K. Den indre Begrænsning $A\,K$ danner med den oprindelige Strømningsretning den Mach'ske Vinkel α bestemt ved $\sin\alpha = \frac{c}{w}$, hvor w er Hastigheden før Brydningen. I Rummet $A\,K\,B$ foregaar Udvidelsen fra Trykket p_0 til Trykket p_1. Tænker man sig nu en Straale dannet ved en bred rektangulær Spalte Fig. 8 a, indser man, at der fra begge de parallele Længdekanter K_1 og K_2 af Straalehullet maa udgaa Ekspansionsbølger som de antydede. De to Bølger er i Figuren $A_1\,K_1\,B_1$ og $A_2\,K_2\,B_2$. Bølgerne reflekteres som almindelige Lydbølger fra Grænsen mellem Straalen og den omgivende Luft.

Digitized by Google

De tilbagekastede Bølger er $A_1 K_1' B_1$ og $A_2 K_2' B_2$. De kastes atter tilbage som Fortyndingsbølgerne $A_4 K_1' B_4$ og $A_3 K_2' B_3$ o. s. v. Den gengivne Figur svarer til det Tilfælde, hvor Luften forlader Spalten med en Hastighed større end Lydhastigheden. Hvis Spalten er kon-

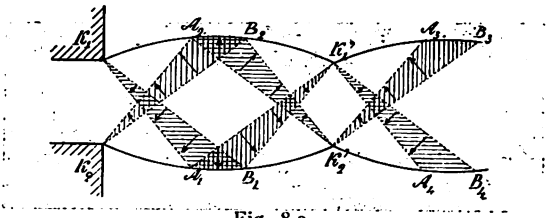


Fig. 8 a.

vergerende som vist i Fig. 8 b, falder A_2 i K_1 og B_2 i K_1', A_1 i K_2 og B_1 i K_2'. Det følger af, at Straalens Hastighed i et saadant Straalehul netop er lig Lydens Hastighed. Bølgerne faar altsaa den i Figuren viste Karakter. De krydsende Bølger forklarer den periodiske Variation af Trykket i Straalen. Undersøger man i Enkeltheder, hvor-

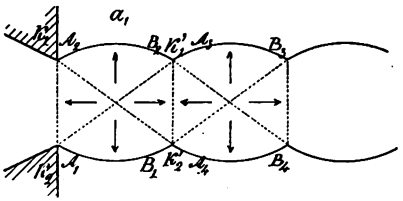


Fig. 8 b.

ledes Trykfordelingen maa blive, finder man, at Trykket i Tilfældene Fig. 8 a og 8 b vokser i de Retninger, Pilene angiver. Det stiger og falder altsaa periodisk ned gennem Straalen. Svarende hertil udviser selve Straalen periodiske Indsnævringer og Udvidelser. I de største Tværsnit vokser Trykket, som det ses, fra Aksen og udefter. I de mindste Tværsnit er der ingen Variationer af Trykket paa tværs af Straalen. Denne Trykfordeling genfinder man, ligesom de periodiske Variationer, ved cylindriske Straaler. I Fig. 9 a gengives en af Forfatteren optaget Kurve over Variationerne i det dynamiske plus det statiske Tryk*) ned gennem en Luftstraale, og i Fig. g b ses en Række Kurver over Trykvariationerne i forskellige Tværsnit. Kurverne svarer, som det ses, ganske til den ovenfor givne Beskrivelse.

*) Herved forstaas det Tryk, som Luftstraalen øver paa en Flade, der standser Straalen. Det synes, at Summen af det dynamiske og det statiske Tryk varierer omtrent som det statiske.

Digitized by Google

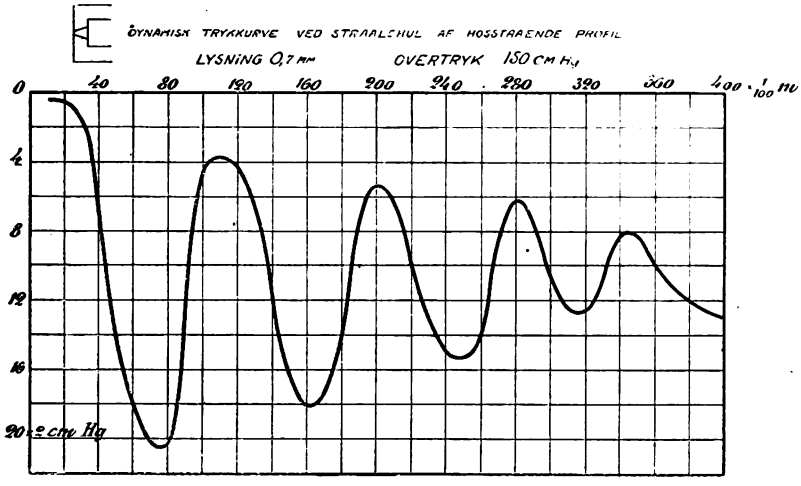


Fig. 9 a.

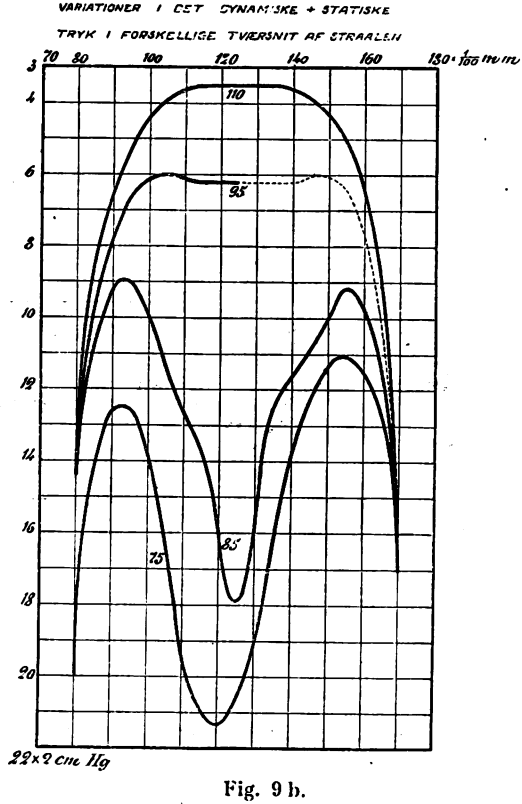


Fig. 9 b.

Digitized by Google

For Længden af de optrædende Bølger har Prandtl udledt den tilnærmede Formel

$$p = 1.2\, d \sqrt{\frac{p_0 - 1.9\, p_1}{p_1}},$$

hvor d er Diameteren i Straalehullet. Udtrykket viser, at Bølgen først optræder, naar $p_0 > 1{,}9\, p_1$, d. v. s. ved et saa stort Tryk, at der i Straalen er Mulighed for en Hastighed større end Lydens.

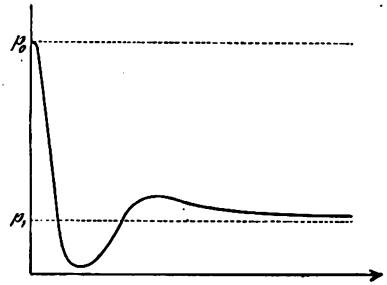


Fig. 10.

Ved større Overtryk, f. Eks. Tryk over 10 Atm., skifter Straalen i nogen Grad Karakter. Trykket synker udenfor Mundingen ligesom før ned under det ydre Tryk og stiger herefter igen op over dette; men det udfører nu ikke flere Svingninger om det ydre Tryk. Det nærmer sig asymptotisk til det, saaledes som det er vist i Fig. 10.



Fig. 11.

Prandtl har optaget en Række instruktive fotografiske Billeder af Trykfordelingen i en flad Luftstraale. Et saadant er gengivet i Fig. 11. Fotografiet kan opfattes som et Billede af en Gibsmodel af Trykvariationerne i Straalen. Hvor Trykket vokser, har Modellen en stigende Flade. Modellen maa i Fig. 11 tænkes belyst skraat fra oven.

Digitized by Google

Den sorte Kile opad til højre er altsaa en i Skygge liggende Flade paa Modellen. Den tilsvarende Trykstigning vil man finde i Fig. 8 a. Den lyse Kile nedad til højre er en belyst Flade paa Modellen. Ogsaa denne vil man forstaa af Fig. 8 a. I det hele taget vil man finde, at Fotografiet i et og alt svarer til Billedet i Fig. 8 a, der atter gengiver de Trykvariationer, Teorien for Luftstraalen fordrer.

Luftstraalens Anvendelse til Frembringelse af Lydbølger*).

Den ovenfor beskrevne Luftstraale kan, som Forfatteren har vist, benyttes til Fremstilling af meget intensive og meget hurtige Lydsvingninger. Man anvender herved ligesom ved den almindelige Fløjte en cylindrisk Resonator eller Oscillator lukket i den ene Ende. Rettes Straalen mod Oscillatorens Munding, og anbringes denne i det ene eller det andet af en Række Omraader af Luftstraalen, som Forfatteren har kaldt Instabilitetsomraaderne, vil Luften i Oscillatoren sættes i Svingninger med Grundtonens Frekvens. Instabilitetsomraaderne synes i Hovedsagen at falde sammen med de Partier af Straalen, hvor Trykket vokser, d. v. s. Partierne $a_1 b_1$, $a_2 b_2$ o. s. v. i Fig. 4. Indenfor disse Omraader er Oscillatoren altsaa i Stand til at tage Energi fra Luftstraalen og omsætte denne Energi til svingende Energi. Da Energitætheden i Straalen er relativ stor, er der altsaa ogsaa Mulighed til Stede for meget intensive Lydsvingninger, og saadanne fremkommer da ogsaa, til Trods for at Oscillatoren nødvendigvis bliver relativ lille, idet dens Diameter ikke tør være væsentlig større end Straalens. Den lille Diameter forklarer paa den anden Side, at det er muligt at fremstille meget høje Frekvenser. Svingningstallet n for en lukket Oscillators Grundtone er i Hovedsagen givet ved Udtrykket

$$n = \frac{c}{4l},$$

hvor c er Lydhastigheden i den Luft, som fylder Oscillatoren, medens l er Oscillatorens Dybde. Udtrykket er dog ikke helt rigtigt, hvilket hidrører fra, at den svingende Luftsøjle naar lidt udenfor Mundingen

*) Jul. Hartmann. Det kgl. Danske Vidensk. Selsk. math. fysiske Medd. I. 13. 1919.

Digitized by Google

af Oscillatoren; man regner ca. 0,6 Gange Radius r i Oscillatoren. Ved denne Tilføjelse til l er der sat en Grænse for, hvor højt man ved Oscillatoren med en given Radius kan naa i Svingningstal ved Formindskelse af Dybden l. Grænsen ligger desto højere, jo mindre r er, og da r ved den her betragtede »akustiske Generator« er meget lille, naar man følgelig højt. Et Eksempel kan belyse dette. Diameteren i Oscillatoren kan i ethvert Fald tages saa lille som 0,5 mm. Rettelsen paa Dybden er altsaa $\frac{0.6 \cdot 0.5}{2} = 0{,}15$ mm, og n bliver, hvis c sættes til 320000 mm, lig $\frac{320000}{4} \cdot 0{,}65 = 123000$ Svingninger/Sek. Benyttes en Brintstraale, vil Oscillatoren naturligvis fylde sig med Brint. I denne Luftart er Lydhastigheden ca. 3,8 Gange saa stor som i atmosfærisk Luft — Lydhastigheden er som bekendt omvendt proportional med Kvadratroden af Luftartens Tæthed. — Med Brint og den antydede Oscillator faas følgelig et Svingningstal paa $3{,}8 \cdot 123000 =$ ca. 476000 eller nær ved en halv Million pr. Sek.

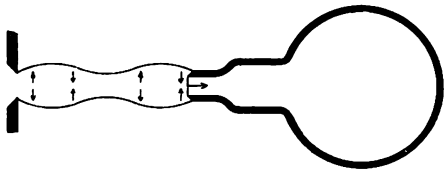


Fig. 12 a.

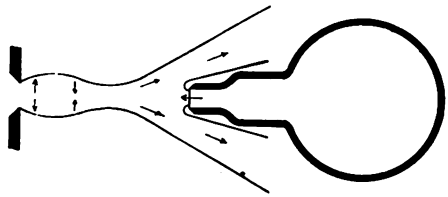


Fig. 12 b.

Oscillatorens Svingninger vil være af den regelmæssige Art, der betegnes som rent harmoniske Svingninger. Men Luftstraalen kan ogsaa benyttes til Fremstilling af en hel anden Type Luftsvingninger, der passende kan betegnes som Pulsationer. Man erstatter da den cylindriske Oscillator med en Beholder forsynet med et Rør, der er trukket ud til en fin Spids. Rettes denne

Digitized by Google

mod Luftstraalen i et af Instabilitetsomraaderne, vil Beholderen fylde sig med Luft formentlig til det Tryk, der hersker paa det paagældende Sted af Straalen. Derefter vil den udtømme denne Luft, atter fylde sig o. s. v. I Fig. 12 a og b er antydet, hvorledes man maa tænke sig Luftbevægelsen under Indstrømning og Udblæsning. Fyldning og Udblæsning tager en ganske bestemt Tid, der ved en given Straale er afhængig af Beholderens Størrelse, Mundingens Vidde og Stedet i Instabilitetsomraadet. Man kan ved tilstrækkelig langsomme Pulsationer let iagttage de to Faser ved at holde en Strimmel Papir hen i Nærheden af Pulsatorens Munding. Den suges da indad mod denne under Fyldningen, medens den slynges udad med stor Kraft under Udblæsningen.

Man kan, lettest ved Ændring af Beholderens Størrelse, frembringe Pulsationer med Svingningstider fra mange Sekunder eller Minutter til f. Eks. $^1/_{5000}$ Sek. Pulsationerne over en vis Frekvens — omkring 30 pr. Sek. — høres naturligvis som en Tone, men en Tone af en ganske anden Karakter end Oscillatortonen. Klangen minder nærmest om den fra Sirenen kendte.

Forsøg med den akustiske Generator.

I Fig. 13 gengives det Apparat, hvormed Flertallet af de Undersøgelser, der ligger til Grund for den nye akustiske Generator, er udført. Paa en svær Jærnbjælke er monteret en Opstander, gennem hvilken et kort Rør er ført. Røret ender i et Hoved, i hvilket det straaledannende Element kan skrues. Foruden Straalerørets Opstander bærer Jærnbjælken en anden Opstander med en vandret Styreskinne. Paa denne kan en Kombination af tre Slæder med Mikrometerskruer forskydes henimod eller bort fra Straalerøret. Den ene Slæde bærer en Patron, i hvilken Oscillatoren (eller Pulsatoren) kan fastspændes. Ved to af Slæderne kan man centrere Oscillatoren i Forhold til Straalen. Ved den tredie kan man føre Mundingen af den ind i Instabilitetsomraadet. Det straaledannende Element kan fremstilles af et Glasrør trukket ud i en Spids med passende Lysning. Lettere at fremstille er et Hul boret i en Metalplade. Fig. 14 viser den bedste Profil for en saadan Hulplade. Pladen skrues fast i Enden af Straalerøret. En Oscillator er gengivet i Fig. 15. Den er fremstillet som en cylindrisk Boring i et Metalstykke. Boringens Kanter er skærpede, for at Luftstraalens Dele med mindst mulig Hindring kan strømme bort fra Oscillatoren.

Digitized by Google

Luften til Generatoren tager man, naar intet Trykluftanlæg staar til Raadighed, fra en Flaske med komprimeret Luft af højt Tryk. Mellem Flasken og Generatoren maa der da indskydes en Reduktionsventil, der nedsætter Trykket til den ønskede Værdi — f. Eks. 4 Atm. Tillige maa der foran Generatoren anbringes en Vindkedel til Udjævning af Uregelmæssigheder i Luftens Udstrømning gennem Reduktionsventilen.

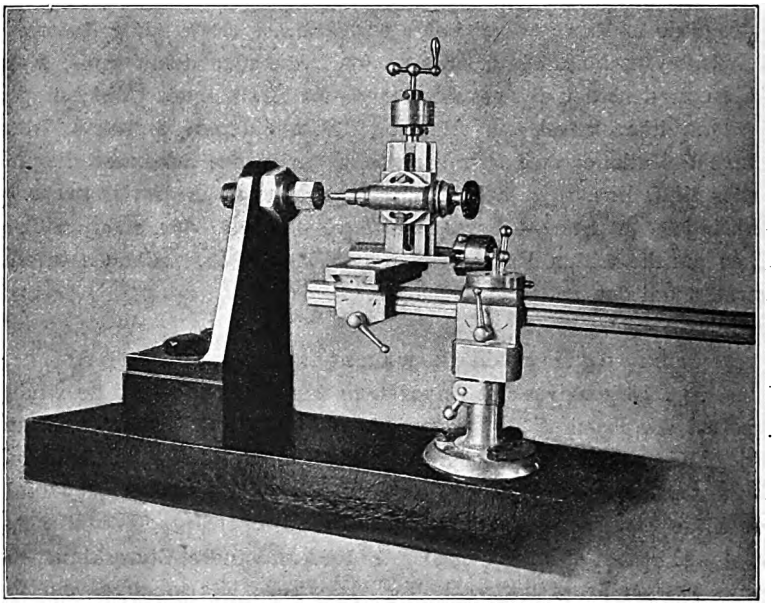


Fig. 13.

Man maaler simplest Længden af de fra Oscillatoren udsendte Bølger ved Hjælp af et Kundtrør, altsaa et Glasrør med Heksemel. Glasrøret maa, hvad Vidden angaar, vælges i Overensstemmelse med

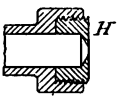


Fig. 14.

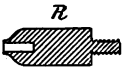


Fig. 15.

Bølgelængden, snævert ved kortere, videre ved længere Bølger. En indre Diameter lig ca. $^1/_2$ Bølgelængde vil i Reglen være passende.

Digitized by Google

Heksemelet bringer man før Fremstillingen af Figurerne til at ligge i en fin Streng ned langs Siden i Røret. Man bruger den mindst mulige Mængde Mel.. Fremstillingen af de Kundt'ske Støvfigurer giver en tydelig Forestilling om Lydsvingningernes Intensitet. Ved en Luftstraale paa 1 mm maa Rørmundingen, selv ved ganske korte Bølger, ofte holdes mange cm fra Oscillatoren. Ved en Luftstraale paa 1,5 mm og et Overtryk paa 4—5 Atm. gav et Kundtrør tydelige Støvfigurer i $^1/_2$ m's Afstand fra Oscillatoren, hvis Svingningstal var 24000.

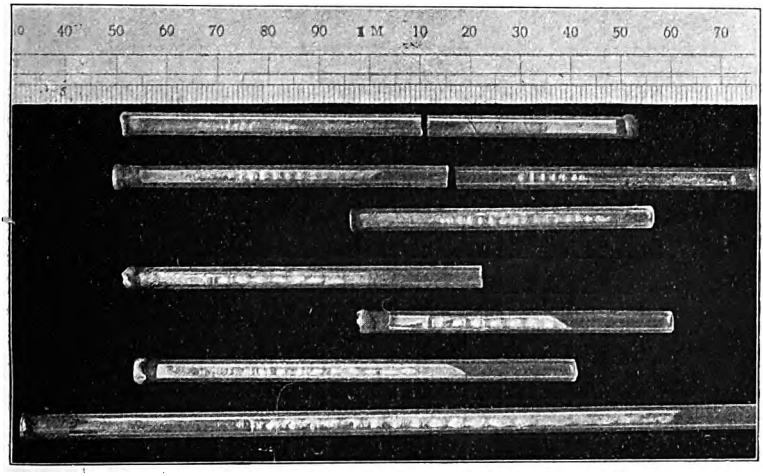


Fig. 16.

I Fig. 16 ses i fotografisk Gengivelse en Række Kundtrør med Støvfigurer. Afstanden mellem Støvbunkerne er som bekendt $^1/_2$ Bølgebredde for Resonatorens Svingninger i den Luft, som fylder Røret. Paa Millimeterstokken foroven i Billedet kan man derfor udmaale Bølgebredderne. Ved Kundtrør blev det undersøgt, hvorledes Bølgebredden afhænger af Oscillatorens Dybde l. Fig. 17 gengiver Resultaterne af et saadant Forsøg udført med Oscillatorer med 1,2 mm Lysning. Afhængigheden er nøjagtig retliniet. Bølgebredden kan fremstilles ved

$$\lambda = 4{,}22\ l + 1{,}5 \text{ mm}.$$

Bølgebredden er altsaa med Tilnærmelse lig 4 Gange Oscillatorens Dybde, hvilket viser, at man har med Grundtonen at gøre. Naar Koefficienten til l bliver større end 4, ligger det i, at Luften i Resona-

Digitized by Google

toren er koldere — og mange Grader koldere — end Luften i Kundtrøret. Afkølingen hidrører naturligvis fra, at Luften har udvidet sig adiabatisk fra det høje Tryk i Beholderen til det lavere Tryk i Straalen. De forskellige Dele af Straalen har en noget forskellig Temperatur, derfor viser det sig ogsaa, at Bølgebredden ændres kendeligt med Oscillatorens Stilling i Instabilitetsomraadet og fra det ene Instabilitetsomraade til det andet.

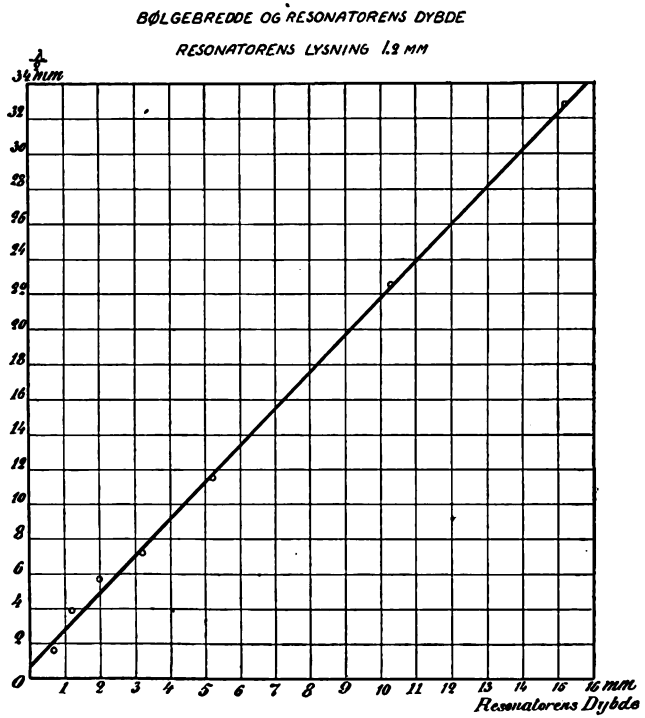


Fig. 17.

Det konstante Led i Formlen ovenfor hidrører fra, at den svingende Luftsøjle naar lidt udenfor Resonatorens Munding. Den udenfor liggende Dels Længde skulde være $\frac{1.5}{4.22} = 0{,}36$ mm. Man plejer som nævnt at regne med, at den omtalte Længde kan sættes lig 0,6 Gange Resonatorens Radius. Denne Regel bekræftes, som det ses, fuldkomment.

Digitized by Google

Det har vist sig, at det ogsaa er muligt at faa Oscillatoren til at give sin første Overtone, altsaa en Tone, der er tre Gange saa høj som Grundtonen. Man skal for at opnaa dette føre Oscillatorens Munding saa langt ind mod Straalehullet som muligt i Instabilitetsomraadet.

Ved større Overtryk er Trykvariationerne, som allerede antydet, ikke længere periodiske, og de skarpt adskilte Instabilitetsomraader vil da ogsaa være forsvundne, idet de er flydt sammen til et enkelt eller et Par Omraader af større Udstrækning og ofte med ret udflydende Grænser.

I den beskrevne Generator er Oscillatoren let udvekslelig. I en anden Konstruktion har Oscillatoren en forskydelig Bund, der kan føres frem og tilbage ved en Mikrometerskrue. Man kan med dette Apparat let udføre Forsøg over Beliggenheden af Grænsen for hørlige Toner. Det synes, at denne Grænse for det normale Øre ligger omkring 20 000 Svingninger pr. Sek.

Forfatteren har tænkt sig, at den nye Generator vil kunne finde Anvendelse i det fysiske Laboratorium for Eks. til Undersøgelser over meget korte Lydbølgers Absorption i Luftarter. Muligvis vil den ogsaa have Interesse for Fysiologen. Generatoren med Pulsator tænkes udformet som Signalapparat.

Lidt om Maalingen og Betydningen af draabeflydende og faste Stoffers Sammentrykkelighed*).

Af

Sven Palitzsch.

At der er foretaget talrige og meget omfattende Undersøgelser af Luftarternes Sammentrykkelighed, det vil sige af Rumfangets Ændring med Trykket, og at disse Undersøgelser har ført til meget betydningsfulde Resultater, som f. Eks. Andrews Kontinuitetsprincip og v. d. Waals Tilstandsligning, er velkendt for enhver Kemiker og Fysiker.

*) Foredrag holdt i Kemisk Forening den 7. Oktober 1919.

Digitized by Google

Mindre kendt synes det derimod at være, at der nu ogsaa for de draabeflydende og faste Stoffers Vedkommende foreligger et ret betydeligt videnskabeligt Materiale, saa vel eksperimentelt som teoretisk. Det kunde maaske derfor paaregne Interesse at faa en Oversigt ikke blot over de mest benyttede Maalemetoder og de dermed fundne Resultater, men ogsaa over de Teorier, der i Tidens Løb er fremsat til Forklaring af Aarsagerne saavel til Sammentrykkelighedens forskellige Størrelse som til den Sammenhæng, der synes at være mellem den og en hel Række andre Egenskaber.

Ved Sammentrykkeligheden forstaar man Rumfangsændringen, som et alsidigt virkende Tryk frembringer ved konstant Temperatur. Man kalder den undertiden Volumenelasticitet eller Kompressibilitet, og man angiver den som oftest ved den Ændring, Enhed af Rumfang undergaar, naar Trykket ændres med Enhed af Tryk. Medens Rumfanget altid maales i cm^3, benyttes der for Trykket hele tre forskellige Enheder, der dog kun afviger et Par Procent fra hinanden. De almindeligste er Atmosfæren og Kilogrammet pr. cm^2, hvoraf den sidste ogsaa ofte kaldes Atmosfære; den tredie, Megabaren, der er indført af Th. W. Richards, er den mest rationelle, da den er direkte udledet af C-G-S-Systemet. Den er nemlig 1 Million Dyn pr. cm^2 og bliver da 2 pCt. større end 1 Kg/cm^2 og 1,3 pCt. mindre end 1 Atmosfære.

Blandt de første, hvem det lykkedes at udføre kvantitative Maalinger af Vædskers Sammentrykkelighed var H. C. Ørsted[1]), der allerede i 1818 til 1828 offentliggjorde de Resultater, han havde opnaaet ved Hjælp af sit velkendte Piezometer, der i ændret og forbedret Form er benyttet af mange senere Forskere. Det egentlige Piezometer (se Fig. 1) er en cylindrisk Glaskolbe med saa snæver Hals, at de smaa Rumfangsændringer, hvorom det drejer sig, kan maales med ret stor Nøjagtighed; det fyldes til et Stykke op i Halsen med den Vædske, der skal maales, og sættes tillige med et lukket Kviksølvmanometer ned i en Trykbeholder af Glas. Trykket frembringes ved at fylde denne med Vand og skrue et Stempel ned i Vandet.

Da Glasset i Piezometret er underkastet samme Tryk fra alle Sider, antog Ørsted, at dets Sammentrykning ingen Indflydelse havde paa Maalingens Udfald; det er dog, som Ørsteds Samtidige, Colladon og Sturm[2]), bemærkede, ikke rigtigt, fordi en Beholder sammentrykkes, som om den var massiv, og man følgelig maaler Forskellen mellem Vædskens og Glassets Sammentrykning.

Digitized by Google

Mere betydende er det dog, at der ikke blev taget tilstrækkeligt Hensyn til Temperaturændringerne, hidrørende fra den ved Sammentrykningen frembragte Varme. Ørsted mente endog, at der slet ikke udvikledes Varme ved Sammentrykning. For Vand stiger imidlertid Temperaturen $^1/_{100}°$, naar Trykket forøges en Megabar; det med-

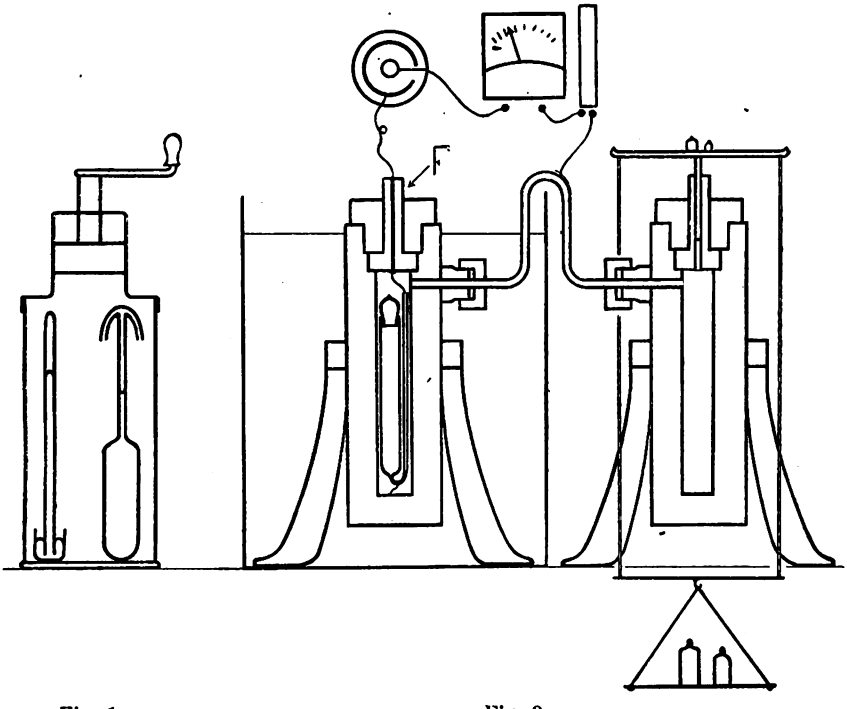


Fig. 1.
Ørsteds Piezometer.

Fig. 2.
Richards Piezometer.

fører en Varmeudvidelse paa $^1/_{10\,000}$ (en Ti Tusindedel) af Rumfanget, og det er omtrent lige saa meget, som Formindskelsen ved Trykket beløber sig til. Det er følgelig nødvendigt at anvende særlig Omhu paa at holde Temperaturen konstant under Maalingen navnlig for smaa Trykændringer, da ellers en ringe Temperaturforandring helt vil kunne skjule Sammentrykkeligheden.

Til højere Tryk end en Snes Megabar kan man ikke som Ørsted bruge en Trykbeholder af Glas, men maa erstatte den med en

Digitized by Google

af Metal. For saa at kunne iagttage Vædskesøjlens Højde kan man ganske vist, saaledes som Amagat[3]) har benyttet det helt op til 1000 Megabar anbringe smaa Glasvinduer i Metalbeholderen, men da det er baade kostbart og besværligt at faa Indfatningerne tilstrækkeligt tætte, har man benyttet sig af indirekte Aflæsning af Rumfanget, idet man har vendt selve Piezometret om og ladet det dyppe ned i Kviksølv. Man kan da paa forskellig Maade maale den Høide, hvortil Kvivksølvet af Trykket presses ind i Røret. Saaledes har Cailletet[4]) forgyldt Røret indvendigt, medens Tait har anbragt en forsølvet og Gilbaut[5]) en forgyldt Platintraad i Røret. Kviksølvet opløser da Guldet eller Sølvet saa langt, som det trænger frem, hvilket man dog først kan se, naar Piezometret er taget ud af Trykbeholderen. For at undgaa det indsmeltede Amagat — efter en af Tait[6]) angivet Metode — i Glasrøret en hel Række Platintraade, som forbandtes to og to ved Modstande paa ca. 2 Ohm. Leder man en elektrisk Strøm ind gennem Metalbeholderen til Kvivksølvet og ud gennem disse Platintraade og Modstande, vil Strømstyrken ændres i Spring hver Gang det indpressede Kviksølv kortslutter en Modstand, det vil sige, naar Vædskens Rumfang er formindsket med det Rumfang, som findes mellem Platintraadene.

Alle disse Metoder beror paa Maaling af Rumfang, og da det er overordentlig smaa Rumfang, det gælder, var det en stor Fordel, at Th. W. Richards (1903)[7]) udarbejdede en Metode, hvorved Rumfangsmaalingen erstattedes af en Vejning. Richards har konstrueret en Mængde forskellige Piezometre, baade af Glas og af Staal, det simpleste og mest anvendelige er afbildet som Fig. 2. Det bestaar af en cylindrisk Glasbeholder, der lukkes med en meget fint tilslebet Glasprop, og til hvilket der forneden er smeltet et Kapillarrør, der fortsætter sig i et lodret Glasrør; til dettes indvendige Side er fæstet en Platintraad, hvis meget fine Spids ender netop ved Kapillarrørets Munding, medens en anden Platintraad er indsmeltet et steds i Kapillarrøret. Dette Piezometer stilles ned i en udboret Staalblok, der staar i en omhyggelig reguleret Termostat, og som er halvt fyldt med Kviksølv for at den ved Sammentrykningen frembragte Varme hurtigt kan ledes bort fra Piezometret.

Da Metoden gaar ud paa at bestemme Sammentrykkeligheden i Forhold til Kviksølvets, der er kendt med stor Nøjagtighed, fyldes Piezometret først med Kviksølv, saaledes at dette i Siderøret staar

Digitized by Google

en Smule over Spidsen af Platintraaden. Piezometret anbringes derefter i Staalblokken og indskydes derved i et elektrisk Kredsløb, idet Siderørets Platintraad kommer i ledende Forbindelse med en Platintraad, der er ført vel isoleret gennem Stykket »F« og hen til den ene Pol af et Tørelement, medens den anden Pol gennem et Galvanometer og en Modstand er forbundet med Staalblokken og derved tillige gennem Kviksølvet i Udboringen og den indsmeltede Platintraad med Kviksølvet i Piezometret. Presser man nu f. Eks. ved Hjælp af en Caillettets Pumpe amerikansk Olie, der har vist sig at være særlig godt egnet til dette Brug, ind i Udboringen, komprimeres Kviksølvet i Piezometret, indtil det synker ned under Platinspidsen, hvorved Strømmen afbrydes, og Galvanometernaalen gaar tilbage til Nul. Efter at have ventet 15 Minutter for at den ved Kompressionen opstaaede Temperaturforskel kan udlignes, lader man Trykket synke indtil Kviksølvet igen naar Platinspidsen og Galvanometret gør Udslag. I det Øjeblik aflæses Trykket paa Manometret. Derefter ophæves Trykket, Apparatet skrues fra hinanden, og en nøjagtigt afvejet lille Kviksølvdraabe hældes ned i Siderøret og Maalingen gentages. Der skal da et større Tryk til for at bryde Strømkredsen, og saafremt Glasset i Piezometret var usammentrykkeligt, vilde Kviksølvdraabens Rumfang blive lig med den til Trykforøgelsen svarende Formindskelse af hele Kviksølvmængdens Rumfang. Man kan paa den Maade finde en Række sammenhørende Værdier af Tryk- og Rumfangsændringer og deraf beregne Forskellen mellem Glassets og Kviksølvets Sammentrykkelighed. Derefter erstattes største Delen af Kviksølvet med en afvejet Mængde af det Stof, der skal undersøges, og paa ganske samme Maade som før findes en Række Tryk, svarende til afvejede Kviksølvdraaber, der beregnet paa samme Trykændring som før bliver desto større, jo mere sammentrykkeligt det indførte Stof er. Da nu saavel Piezometret selv som Resten af Kviksølvet sammentrykkes lige meget i begge Tilfælde, vil Rumfanget af Kviksølvdraaberne netop være saa meget større end før som det indførte Stof sammentrykkes mere end det Kviksølv, det har erstattet. Af Stoffets Rumfang, der beregnes af dets Vægt og Vægtfylde, af Kviksølvdraabernes Vægt og deres Vægtfylde ved de paagældende Tryk samt af de iagttagne Tryk kan Sammentrykkeligheden da let beregnes.

Paa denne Maade findes altsaa Sammentrykkeligheden i Forhold til Kviksølvets, der igen er bestemt i Forhold til Staalets, og denne

Digitized by Google

kan f. Eks. findes ved at maale Formindskelsen af Længden af en Staalstang, der i en med Olie fyldt Cylinder underkastes et alsidigt Tryk; det tredobbelte af denne Formindskelse er da Staalets Sammentrykning. Ved simpelthen at sammentrykke Stangen ved et Tryk i dets Længderetning kan man som bekendt ikke finde Størrelsen af Sammentrykkeligheden, da Stangens Tværsnit samtidigt udvider sig.

Til Maaling af Trykket benytter Richards en Trykvægt, der oprindelig er konstrueret af Stückrat efter samme Princip som Amagats berømte Manometer »a piston libre«. Den bestaar af en udboret Staalblok ganske som den, der benyttes til Piezometret, kun er der i Stykket »F« boret et lodret nøjagtigt cylinderformet Hul, hvori en omhyggeligt afdrejet Staalstang med nøje kendt Diameter kan bevæge sig. Belaster man en Vægtskaal, som er fæstet til denne Staalstangs øverste Ende, med en Vægt, der er lig Oliens Tryk paa dens nederste Flade, vil den være i Ligevægt; er Trykket større eller mindre, vil den stige eller synke, saafremt Gnidningen mellem Stemplet og Olien kan gøres tilstrækkeligt ringe, og det opnaas — meget nemt — ved blot at holde Stemplet i langsom Rotation.

Ved Stemplets Bevægelser op og ned indstilles Trykket efter Belastningen, og ved at ændre denne finder man de Tryk, der netop slutter og afbryder det før omtalte elektriske Kredsløb. For Tryk mellem 100 og 300 Megabar har jeg uden Vanskelighed faaet Udslag med en Over- eller Undervægt paa en Femtusindedel af hele Belastningen. Er Piezometret f. Eks. fyldt med Vand vil det svare til en Rumfangsændring paa $^1/_{25}$ Kubikmillimeter, saa man forstaar, at saavel Platinspidsen som Kviksølvet og Glassets Vægge i Nærheden af den, skal være overordentlig rene.

Richards' Metode egner sig kun for Tryk mellem 100 og 500 Megabar. For højere Tryk maa den erstattes af en anden, der i sit Princip er overordentlig simpel. Den bestaar nemlig i at drive et Stempel ned i en med Stoffet fyldt Staalcylinder og beregne den til Trykket svarende Forskel mellem Staalets og det undersøgte Stofs Rumfangsændring af Stemplets Tværsnitsareal og af det Stykke, det er presset ned i Cylinderen. Metoden er hurtig og enkel og anvendelig fra 500 Megabar og op til de højeste Tryk og over et meget stort Temperaturomraade, men den kræver desværre, foruden et meget kostbart Apparat, Kendskab til ret vanskeligt bestemmelige Korrektioner.

Digitized by Google

Tammann har benyttet den op til 4000 Kg/cm² og Bridgman[8]) har med den udført sine klassiske Undersøgelser af Vædsker ved Tryk op til 12 000, ja i nogle Tilfælde endog helt op til 20 000 Kg/cm². Størrelsen af disse høje Tryk maaler Bridgman ved den Ændring, de frembringer i Metallers — som Regel Manganintraades — elektriske Ledningsevne.

I det geofysiske Laboratorium i Washington[9]) er der fornylig særlig af Hensyn til mineralsyntetiske Undersøgelser bygget et meget stort Apparat efter samme Princip og med en Mængde interessante Detailler, hvoraf jeg kun skal nævne, at alle Sammenføjninger er konstrueret saaledes, at de presses sammen af Trykket og derfor bliver tættere, jo større dette bliver.

Hvad nu Resultatet af Maalingerne angaar, kan det straks siges, at Vædskers og faste Stoffers Sammentrykkelighed er overordentlig ringe. For Vand, Alkohol og Æter er den saaledes henholdsvis 47,5—76,9 og $107{,}2 \times 10^{-6}$ (Tabel 1). Rumfanget af 1 cm³ Vand vil altsaa formindskes med 47,5 Milliontedele cm³, naar Trykket forøges med 1 Megabar.

Tabel 1.

Sammentrykkelighed · 10^6; Temperatur: 0°.

Tryk		Vand	Alkohol	Æter
1—500	Atm.	47,5	76,9	107,2
500—1000	-	41,6	56,6	70,8
1000—1500	-	35,8	45,8	53,7
1500—2000	-	32,4	38,5	45,2
2000—2500	-	29,2	33,1	37,1
2500—3000	-	26,1	28,4	31,7

Som det fremgaar af Tabellen, der skyldes Amagat[3]), formindskes Sammentrykkeligheden betydeligt med stigende Tryk og bliver omtrent ens for alle tre Stoffer. Det synes at være en almengyldig Regel, at alle individuelle Ejendommeligheder udviskes eller forsvinder ved meget høje Tryk.

I Overensstemmelse hermed vil Formindskelsen med stigende Tryk blive desto større, jo større Sammentrykkeligheden er. Richards har fundet, at denne Regel gælder med god Tilnærmelse for alle undersøgte Vædsker, selv for Kviksølv, der har en langt mindre

Digitized by Google

Sammentrykkelighed end de fleste andre Vædsker, nemlig kun $3{,}96 \times 10-6$ ved 100—300 Megabar. Nogle af Richards Tal[10]) er samlede i Tabel 2, hvor man ogsaa ser Eksempler paa, at Sammen-

Tabel 2.
Sammentrykkelighed ($\cdot 10^6$) ved forskellige Tryk.

	100—300 Megabar	300—500 Megabar	Differens
Hexan	117,5	91,4	26,1
Ætylbromid	99,8	81,6	18,2
Metylalkohol	95,2	79,6	15,6
Ætylalkohol	88,7	74,5	14,2
Propylalkohol	77,3	67,3	10,0
Benzol	77,3	67,5	9,8
Toluol	74,1	63,9	9,2
o-Xylol	65,6	56,6	9,0
Kloroform	83,0	69,7	13,3
Bromoform	45,0	41,4	3,6
Vand	43,3	40,9	2,4
Kviksølv	3,96	3,94	0,02

trykkeligheden bliver mindre, naar Antallet af Kulstofatomer stiger i homologe Rækker. For faste Stoffer og navnlig for Metaller, der har endnu mindre Sammentrykkelighed end Kviksølv, bliver Trykkoefficienten saa lille, at Amagat ingen Ændring kunde finde helt op til 2000 Atmosfærer. I Aar har Adams, Williamson og Johnston[9]) vist, at Sammentrykkeligheden er uforandret den samme op til 12 000 Megabar, naar den som for Metallerne Staal, Guld, Kobber, Sølv og Aluminium ligger mellem 0,6 og $1{,}40 \times 10^{-6}$, hvorimod Trykkoefficienten naar en iagttagelig Størrelse for Wismut, Cadmium og Bly, der er omtrent dobbelt saa sammentrykkelige.

Til Beregning af Sammentrykkelighedens Afhængighed af Trykket er der foreslaaet mange Ligninger, hvoraf de, der ikke er rent empiriske, har en større eller mindre Lighed med v. d. Waals Tilstandsligning, der, som det erindres, skrives $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$, d. v. s. at Produktet af Tryk og Rumfang for Luftarter og Vædsker

Digitized by Google

er proportional med den absolutte Temperatur, naar man vel at mærke til Trykket regner ikke blot det ydre — p — men ogsaa det indre — $\frac{a}{v^2}$ — og til Rumfanget kun medtager det, der findes mellem Molekylerne, altsaa subtraherer disses Egetrumfang — b — fra det hele Rumfang — v —.

Da denne Ligning udtrykker en Sammenhæng mellem Tryk, Rumfang og Temperatur kan man følgelig af den beregne Sammentrykkelighedens Ændring med Tryk og Temperatur, men i sin oprindelige Form, hvor a og b forudsættes at være Stofkonstanter gør den imidlertid langtfra tilstrækkeligt Rede for de iagttagne Forhold.

Man antager derfor, at a eller b eller begge er Funktioner af Tryk og Temperatur og faar naturligvis saa langt bedre Overensstemmelse mellem de beregnede og de fundne Værdier, ja selv om kun det indre Tryk betragtes som en Funktion af Temperaturen. bliver Overensstemmelsen, som T u m l i r z'[11]) Beregninger viser, overordentlig god for Tryk indtil 3 000 Atmosfærer og Temperaturer indtil 40—50°, men ved højere Tryk og Temperatur kendes ingen Ligning, der paa tilfredsstillende Maade beskriver Forholdene.

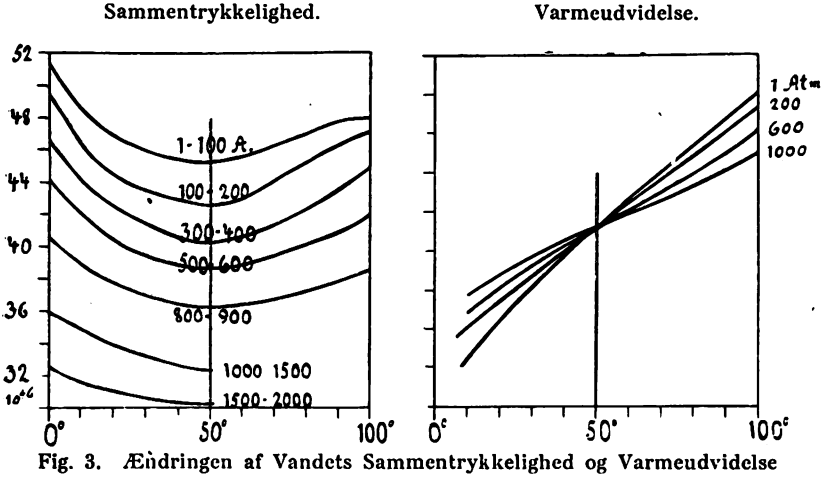


Fig. 3. Ændringen af Vandets Sammentrykkelighed og Varmeudvidelse med Temperaturen.

Da Vand og Is, ogsaa hvad Sammentrykkelighed angaar, viser mange Ejendommeligheder, fortjener de at omtales særskilt.

Med Hensyn til Formindskelsen af Sammentrykkeligheden med Trykket forholder Vand sig som andre Vædsker, men i Modsætning til

Digitized by Google

disse aftager Sammentrykkeligheden, naar Temperaturen stiger, dog kun til ca. 50°, hvorefter den igen bliver større, saaledes som det fremgaar af Fig. 3, der viser Resultaterne af Amagats[3]) Maalinger. Tillige ses det, at dette Minimum ved højere Tryk udviskes mere og mere. Derimod forskydes det ikke mod lavere Temperatur, som det er Tilfældet med den anden Særhed ved Vandets Rumfangsforhold, nem-

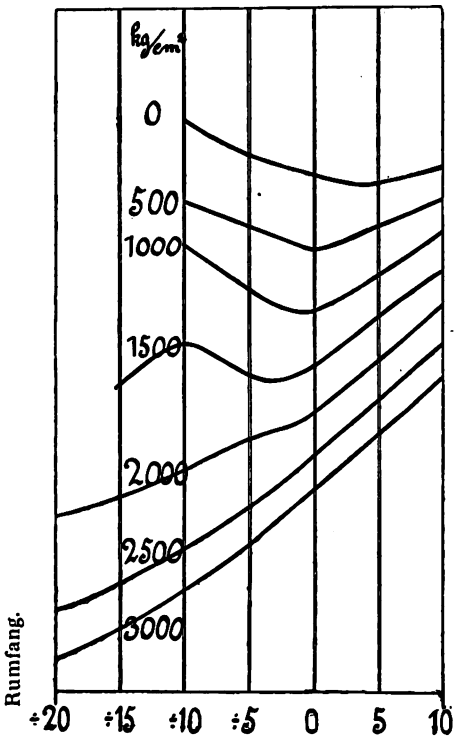


Fig. 4. Ændring af Vandets Rumfang med Temperaturen ved forskellige Tryk.

lig Rumfyldeminimet, der ved almindeligt Tryk ligger ved 4°. Mere overskueligt end at følge dette Minimums Indflydelse paa Sammentrykkeligheden bliver det at sammenligne Rumfangets Ændring med Temperaturen ved forskellige Tryk. Paa Fig. 4, hvis Kurver skyldes Bridgman[12]), er Temperaturen derfor afsat som Abscisse,

Digitized by Google

medens Rumfanget i Forhold til Rumfanget ved 0^0 og 0 Atmosfærer er afsat som Ordinat, og for Tydeligheds Skyld er de enkelte Kurvers Rumfangsændringer tegnet i 10 Gange saa stor Maalestok som selve Ordinaterne. Et Maal for Sammentrykkeligheden faar man da i Afstanden mellem disse Kurver. Ved 1500 Kg/cm² er Minimet rykket helt ned til $\div 3^0$, og ved dette Tryk findes endog et Maksimum ved lavere Temperatur, medens Kurven ved 2000 kg og derover forløber ganske normalt. Ogsaa denne Uregelmæssighed forsvinder altsaa ved meget høje Tryk.

Værdierne for Rumfanget under 0^0 gælder alle for flydende Vand. Størkner Vandet til Is, bliver Rumfanget straks større og Sammentrykkeligheden betydeligt mindre.

Undersøger man Isen ved højere Tryk end et Par Tusinde Atmosfærer, finder man, at dets Rumfang og Sammentrykkelighed ved bestemte Tryk og Temperaturer pludselig forandres, idet der foregaar en Omdannelse, der ganske i Lighed med Størkningen er ledsaget af Rumfangsændring, Varmeafgivelse o. s. v. Isen omdannes altsaa polymorft ved højere Tryk paa samme Maade, som det er saa godt kendt for Svovlets Vedkommende ved lavere Tryk.

Tabel 3.

Sammentrykkelighed af Vand og forskellige Isformer.

			Sammentrykkelighed . 10^6	
Temp.	Tryk	Isform	Is	Vand
0	0	I	35	52
$\div 22{,}5$	2000	III	9,1	30
$\div 13{,}6$	4000	V	7,2	19
$\div 1{,}6$	6000	»	4,7	14
$\div 12{,}8$	5000	IV	10,2	16,4
$+ 5{,}0$	7000	»	5,5	12,6
$+ 26{,}0$	10000	»	3,7	10,4

Det er lykkedes Tammann og Bridgman[13]) at finde hele 5 forskellige Slags Is og at bestemme de Tryk og Temperaturer, ved hvilket hvert enkelt er bestandigt. For de fire af Isformerne er Sammentrykkeligheden skrevet op i Tabel 3, og ved Siden af er det flydende Vands Sammentrykkelighed ved samme Tryk og Temperatur vedføjet for at vise, at Isen stadig sammentrykkes mindre end Vand; for »Is I«, der er den almindeligst kendte Is, kunde man have ventet

Digitized by Google

det modsatte, eftersom Vandets Vægtfylde jo er større end Isens, og det tætteste Stof som Regel har den mindste Sammentrykkelighed.

I Aar har Richards og Boyer[14]) fundet, at ogsaa flydende Gallium er dobbelt saa sammentrykkeligt som det faste, skønt Gallium i Lighed med Vand udvider sig ved Størkning. Der vil da sandsynligvis ikke findes nogen Undtagelse fra den Regel, at alle Stoffer i fast Form har mindre Sammentrykkelighed end i flydende ved samme Tryk og Temperatur.

Gaar vi nu fra de rene Stoffer over til Blandinger, finder vi, at det som sædvanlig er de vandige Opløsninger og deraf igen Saltopløsningerne, der tidligst og i størst Udstrækning er blevet undersøgt. Röntgen og Schneider[15]) har saaledes i 1886 paavist, at Opløsninger af Alkalisalte og af de tilsvarende Syrer og Baser alle sammentrykkes mindre end Vandet, og at Sammentrykkeligheden af Anioner og Kationer i nogen Grad er en additiv Egenskab. For Afhængigheden af Koncentrationen opstiller de endvidere en Ligning, der imidlertid ikke passer synderligt godt, navnlig ikke paa senere Maalinger. Det gør derimod Tait s[16]) Interpolationsformel, der kun giver Afvigelser paa $^1/_{200}$, men den indeholder nu ogsaa hele to Konstanter. Dem findes der slet ingen af i Gilbaut s[5]) interessante Ligning $\log \frac{\beta \text{ Opl.}}{\beta \text{ Vand}} \cdot \frac{d \text{ Opl.}}{d \text{ Vand}} \cdot \frac{1}{a} = k$, der siger, at Log. til Forholdet mellem Opløsningens og Vandets Sammentrykkelighed multipliceret med Forholdet mellem Vægtfylderne og divideret med Koncentrationen udtrykt i Molekylprocent er lig med en Størrelse, der ganske vist er konstant for hvert enkelt Salt, men som kan beregnes af Kontraktionen i uendelig fortyndet Opløsning. Foruden at Ligningen altsaa gør det muligt af Vægtfylderne af et Salt og af dets Opløsning at beregne Sammentrykkeligheden ved en hvilken som helst Koncentration, viser den tillige tydeligt Sammenhængen mellem denne Egenskab og Kontraktionen ved Opløsning, d. v. s. en Rumfangsændring, der er betinget af molekylære Kræfter.

For alle Saltopløsninger gælder det, at Sammentrykkeligheden formindskes jævnt med stigende Koncentration, dog ikke proportionalt hermed, men noget langsommere.

Det gælder ogsaa de uorganiske Syrer og Baser, kun Svovlsyren har et udpræget Minimum ved 45 pCt. Senere har det vist sig, at ogsaa Eddikesyren og dens tre Klorsubstituter, som Drucker[17]) har

Digitized by Google

undersøgt, og Urethan[18]), som jeg har maalt, har tydelige Minima. (Fig. 5). Andre organiske Stoffer som Sukker, Kasein og Pepton[19]) forholder sig derimod som Saltene, kun at de formindsker Sammentrykkeligheden noget mindre.

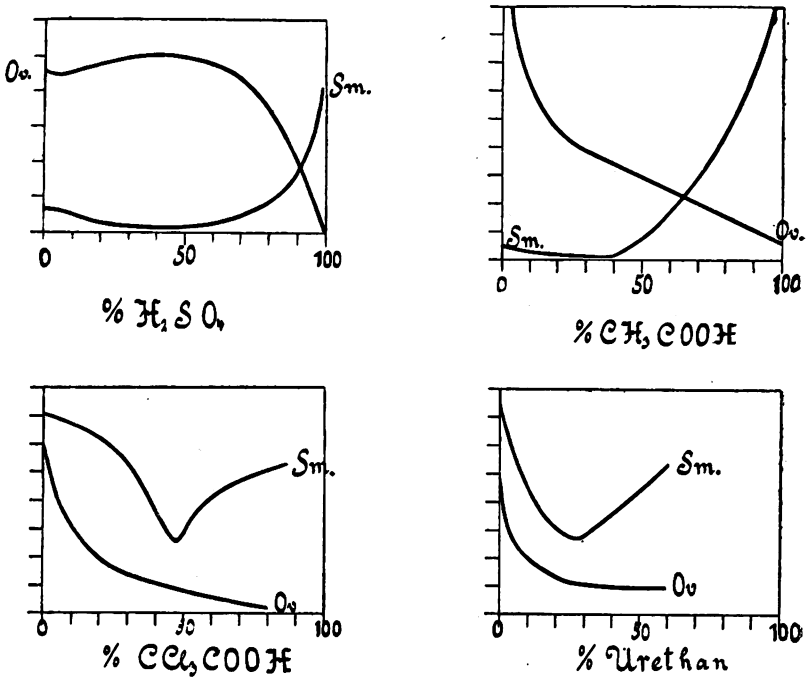


Fig. 5. Ændringen af 4 Opløsningers Sammentrykkelighed (Sm) og Overfladespænding (Ov.) med Koncentrationen.

For Opløsninger, navnlig for vandige Saltopløsninger, har T a m m a n n[20]) fundet en betydningsfuld Sammenhæng mellem disses Varmeudvidelse og Ændringen af Opløsningsmidlets Sammentrykkelighed med Temperaturen eller, hvad der bliver det samme — blot med modsat Fortegn — Ændringen af Varmeudvidelsen med Trykket. Alle Vandets Særegenheder genfindes hos Opløsninger, naar man i Stedet for Trykket forøger Koncentrationen. En Opløsning af en bestemt Koncentration forholder sig i Henseende til Rumfangsændringer ganske som Vand under et bestemt højere Tryk, og det er derfor naturligt, at T a m m a n n heraf slutter, at dette Tryk netop angiver

Digitized by Google

Forskellen mellem Molekylernes indre Tryk i Opløsningen og i Vandet. For at bestemme Størrelsen af dette indre Tryk behøver man da kun at udfinde, ved hvilket Tryk Vandet har samme Varmeudvidelse som den paagældende Opløsning. Det viser sig da, at 1 Grammolekyle opløst i 1000 Gram Vand gennemsnitlig forøger Trykket med 700 Atmosfærer — f. Eks. Natriumklorid med 600 og Rørsukker med 786. Ved dette Tryk skulde altsaa Vandets Sammentrykkelighed — foruden dets Varmeudvidelse — være lig med Opløsningens ved 1 Atmosfære, hvilket stemmer godt med de eksperimentelt fundne Resultater.

Værdien af Teorien skyldes dog ikke saa meget de noget usikkert bestemte, absolutte Talværdier som de sammenlignende Betragtninger, den giver Anledning til. For blot at nævne et enkelt Eksempel saa vi før, at Vandet havde et Minimum ved ca. 50° (sml. Fig. 3 a); her er Ændringen med Temperaturen altsaa Nul, og følgelig vil Varmeudvidelsen ikke forandres med Trykket, som det er vist paa Fig. 3 b. Ved samme Temperatur skulde da Varmeudvidelsen af Opløsninger være uafhængig af Koncentrationen. Den Temperatur, ved hvilket det er Tilfældet, er for Bariumklorid fundet at være 50°, for Kalium og Natriumklorid 55°, i god Overensstemmelse med Teoriens Fordringer.

Ligesom Sammentrykkeligheden altid bliver mindre, naar det ydre Tryk forøges, bliver den ogsaa mindre, som vi nu har set det, naar det indre Tryk forøges ved at opløse et Stof i Vædsken.

Denne Tanke, at Sammentrykkeligheden kan give Oplysning om de molekylære Kræfter og derigennem om Sammenhængen mellem Stoffets forskellige Egenskaber, har senere faaet en betydelig større Rækkevidde. Det skyldes først og fremmest Th. W. Richards, der drager sine Sammenligninger ud fra den Grundsætning, at jo mere et Stof i Forvejen er sammenpresset enten af ydre Tryk eller af molekylære Kræfter, desto vanskeligere er det at sammentrykke det yderligere, det vil sige desto mindre er dets Sammentrykkelighed.

Jo stærkere Molekyler og Atomer er bundne til hinanden, desto mindre vil deres samlede Rumfang blive, desto mindre vil de ved Forøgelse af Temperaturen — og dermed af Varmebevægelsen — fjernes fra hinanden, og desto vanskeligere vil de gaa fra fast til draabeflydende og derfra til luftformet Tilstand. Det skulde da medføre, at et lille Atomvolumen, en ringe Varmeudvidelse og et højt

Digitized by Google

Smelte- og Kogepunkt skulde følges af en ringe Sammentrykkelighed. Paa Kurvetavlen, Fig. 6, over 38 Grundstoffer,[21]) er Atomvægtene afsatte som Abscisser, og som Ordinater er afsat Størrelsen af Sammentrykkeligheden, af Atomvolumen, af Varmeudvidelsen og af den reciprokke Værdi af den absolutte Smeltetemperatur. Nogen simpel Proportionalitet er der ikke mellem de forskellige Størrelser, men man

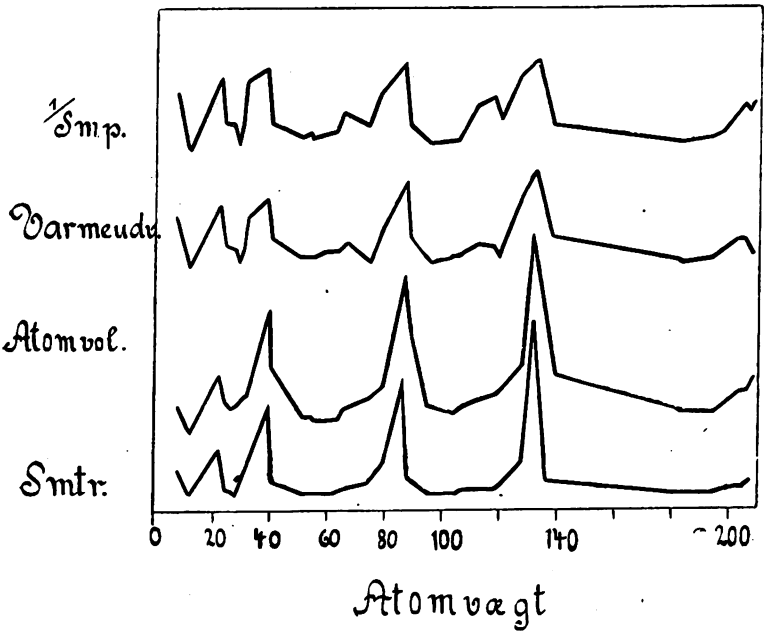


Fig. 6. Ændringen af Grundstoffernes Sammentrykkelighed, Atomvolumen, Varmeudvidelse og af den reciprokke Værdi af deres Smeltepunkter med Atomvægten.

kan dog opstille en brugelig Interpolationsformel, hvor Sammentrykkeligheden er Funktion af Atomvægt, Vægtfylde og Smeltepunkt. Iøvrigt er Sammentrykkeligheden hermed stillet i Relation til det periodiske System og dermed til alle de Forhold, der kan udledes deraf.

Richards[22]) har endvidere undersøgt Halogeniderne af Kalium, Natrium, Thallium og Sølv. Da det er kemiske Forbindelser, faar vi her to indre Tryk, nemlig Affinitetstrykket, der svarer til Tiltrækningskræfterne mellem de uensartede Atomer og Kohæsionstryk-

Digitized by Google

ket, der svarer til Kræfterne mellem de ensartede Molekyler — og Sammentrykkeligheden maa være betinget af begge.

Tabel 4.

Mol. og atom. Sammentrykkelighed af Halogenider.

		Cl	Br	J
	Grundstof	2400	1330	335
K	1430	188	271	459
Na	365	111	170	282
Tl	35,5	160	192	313
Ag	8,6	57	75	163

I Tabel 4 er optegnet saavel Sammentrykkeligheden af Forbindelserne som af de Grundstoffer, hvoraf de er dannede; det er dog ikke den sædvanlige Sammentrykkelighed, der som tidligere nævnt er Rumfangsændringen af een cm^3, men Ændringen af Rumfanget af eet Molekyle eller Atom. Man ser da straks, at Saltenes Sammentrykkelighed er betydeligt mindre end Summen af Sammentrykkelighederne af de to Bestanddele i fri Tilstand.

Desuden fremgaar det af Tabellen, at Kloriderne stadig har mindre Sammentrykkelighed end Bromiderne og disse igen mindre end Jodiderne, hvad der stemmer godt med, at det største Affinitetstryk sammenpresser Atomerne mest, saa at de — under iøvrigt lige Forhold — vanskeligst sammenpresses mere af et ydre Tryk. At denne Virkning af Affiniteten ikke giver sig saa tydeligt til Kende, naar Salte af samme Halogen og forskellige Metaller sammenlignes, mener Richards, skyldes den store Forskel i Kohæsionstrykket. For de paagældende Salte faar det tillige Betydning, at Alkalisaltene er maalt i krystallinsk og Thallium- og Sølvsalte sandsynligvis i amorf Tilstand. Fra Tammanns Undersøgelser ved vi nemlig, at f. Eks. Druesukker er omtrent dobbelt saa sammentrykkeligt i amorf som i krystallinsk Form.

Nøjes vi imidlertid med at betragte Alkalimetallernes Klorider, finder vi, som det ses af Figur 7, at Kontraktionen ved Saltets Dannelse er ligefrem proportional med Sammentrykkeligheden af det tilsvarende Alkalimetal. Det kunde tyde paa, at Affinitetstrykket er ganske ens for de fem Alkaliklorider, idet det samme Tryk jo vil formindske Rumfanget proportionalt med Sammentrykkeligheden.

Digitized by Google

Forlænges den rette Linie til Skæring med Ordinataksen, vil Skæringspunktet angive den Kontraktion — 12,5 cm^3 —, der vil finde Sted ved Dannelsen af et Salt af Klor og et usammentrykkeligt Alkalimetal. Hele Kontraktionen maa da gaa ud over Kloratomet, og da Affinitetstrykket er lige stort for alle Klorider, maa Klorets Kontraktion ogsaa være det, og følgelig bliver Metalatomets Kontraktion lig med Forskellen mellem den samlede iagttagne Kontraktion og Klorets paa 12,5 cm^3. For Litium, Natrium, Kalium, Rubidium og Cæsium bliver den henholdsvis 5,1 — 9,0 —20,6 — 24,3 — 41,1, og det er saaledes

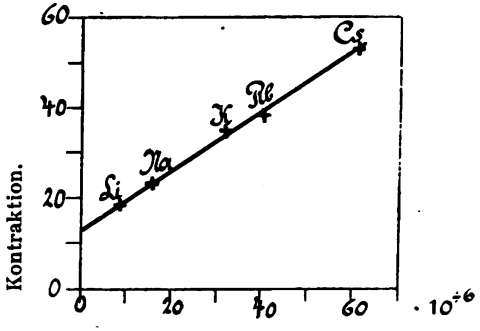


Fig. 7. Forholdet mellem Alkalikloridernes Kontraktion og Sammentrykkelighed.

ved Hjælp af Sammentrykkeligheden lykkedes at finde, hvorledes Rumfangsændringen fordeler sig over de to Komponenter.

Hverken Tammanns eller Richards Betragtninger er direkte udledet af Laplaces og van der Waals grundlæggende Ideer om det indre Tryk, ej heller er Trykkene identiske. Uden at komme ind paa en vidtløftig Udredning af Betydningen af de mange forskellige Tryk, der i Tidens Løb er defineret som indre Tryk, vil jeg kun erindre om, at Laplace mente, at Overfladespændingen bliver desto større, jo større de tiltrækkende Kræfter mellem Molekylerne er; da Sammentrykkeligheden ogsaa er afhængig heraf, kun at den bliver mindre, naar Kræfterne bliver større, er det naturligt at sammenligne de to Egenskaber. v. d. Waals har rent teoretisk udledet et Udtryk for Sammenhængen, og Richards[23]) har for ublandede Vædsker opstillet den empiriske Ligning $\beta \cdot \gamma^{1/3} = 0.0025$, hvor β er Sammentrykkeligheden og γ er Overfladespændingen. Ligningen passer udmærket for 31 organiske Vædsker — og mærkeligt nok ogsaa

Digitized by Google

for den opadstigende Gren af Kurven for vandige Urethanopløsningers Sammentrykkelighed (sml. Fig. 5).

Ellers findes der nemlig ikke nogen let gennemskuelig Sammenhæng mellem vandige Opløsningers Sammentrykkelighed og Overfladespænding. Röntgen og Schneider[15]) har ganske vist i 1886 paavist, at Rækkefølgen af Salte, Syrer og Baser bliver omtrent den samme, naar de ordnes efter stigende Overfladespænding og faldende Sammentrykkelighed af deres vandige Opløsninger, og tillige, at Svovlsyre har Maksimum af Overfladespænding omtrent ved samme Koncentration, som den har Minimum af Sammentrykkelighed (sml. Fig. 5), men de har kun undersøgt Stoffer, der forøger Overfladespændingen, og i alle de Tilfælde, hvor Overfladespændingen af Opløsningen er mindre end Vandets og formindskes med Koncentrationen, bliver Sammentrykkeligheden ogsaa mindre og ikke større, saaledes som den skulde i Overensstemmelse med Röntgen og Schneiders Opfattelse eller med Richards Ligning.

Kun naar Sammentrykkeligheden undtagelsesvis ved en vis Koncentration naar et Minimum, vil den ved højere Koncentrationer ændres modsat af Overfladespændingen, da denne stadig formindskes med stigende Koncentration, uden at vise nogen som helst til Sammentrykkelighedens Minimum svarende Ændring saaledes som det ses paa Fig. 5's Kurver for Eddikesyre, Trikloreddikesyre og Urethan.

Ogsaa Evnen til at opløse Luftarter har man sammenstillet med Sammentrykkeligheden ud fra den Tankegang, at da den Forøgelse af en Vædskes Rumfang, der finder Sted, naar en Luftart opløses deri, modvirkes af det indre Tryk, maa en Forøgelse af dette og dermed en Formindskelse af Sammentrykkeligheden fremkalde en Formindskelse af Opløseligheden.

Gustav Geffcken[24]) har maalt Opløseligheden af Brint, Ilt, Kvælstofforilte og Kuldioxyd i vandige Opløsninger af en stor Mængde Salte, Syrer og Baser og fundet en udpræget Parallelitet mellem de to Egenskaber. Endog Svovlsyrens før omtalte Minimum genfindes i dens Evne til at opløse Brint og Kuldioxyd.

Overensstemmelsen er endvidere paavist af Ritzel[25]) for mange binære organiske Vædskeblandinger. Som Eksempler vil jeg fremdrage tre: (Fig. 8) Nitrobenzol-Toluol, hvis Kurver, som det ses her, hverken har Maximum eller Minimum. Alkohol-Vand, der viser udprægede Minima ved ca. 22 pCt., samt Benzol-Eddikesyre, der har

Digitized by Google

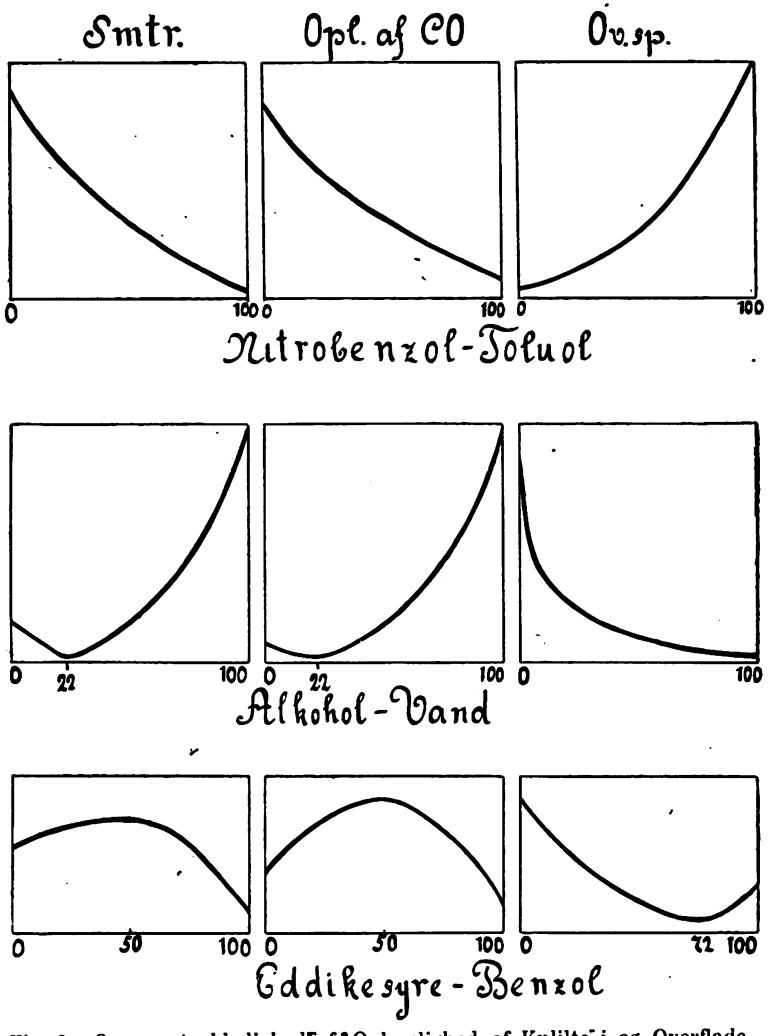


Fig. 8. Sammentrykkelighed af, Opløselighed af Kulilte i og Overfladespændingen af nogle Vædskeblandinger.

tydelige Maxima ved ca. 56 pCt. For alle tre Blandinger forløber de to Kurver ganske ens. Til Sammenligning er desuden medtaget Kurver for Overfladespændingen, der her ligesaa lidt som ved vandige Opløsninger gengiver de molekylære Kræfter paa samme Maade som Sammentrykkeligheden.

Digitized by Google

Den sidste Blanding, Benzol-Eddikesyre, besidder iøvrigt en meget sjældent forekommende Ejendommelighed, idet dens Sammentrykkelighed og Opløsningsevne ved lave Koncentrationer er større end Hovedbestanddelens.

Foruden for de allerede nævnte Egenskaber har Kendskabet til Sammentrykkeligheden Betydning for en Mængde andre Forhold, f. Eks. til Beregning af Lydens Hastighed, af Fordampningsvarmen, af Forskellen mellem Varmefylderne ved konstant Rumfang og konstant Tryk, til Bedømmelse af Retning og Hastighed af osmotisk Vædskebevægelse o. s. v. At de faste Legemers øvrige elastiske Konstanter tiltager i samme Orden som Sammentrykkeligheden behøver efter den foregaaende Udvikling kun lige at nævnes.

Ikke blot fysiske og kemiske, men ogsaa fysiologiske Egenskaber har Traube[26]) sammenstillet med Sammentrykkeligheden. Han har vist, hvorledes Stofferne, og da navnlig Saltenes Anioner og Kationer kommer i omtrent samme Rækkefølge, hvilken Egenskab og Evne de saa end ordnes efter. Mellem de 35, Traube har samlet Rækker for, kan af de fysiologiske nævnes Æggehvidefældning, Opsvulmning af Gelatine, Osmose, Plasmolyse, Hæmolyse, Resorption, Irritabiliteten af Muskler og Nerver o. s. v.

Det er øjensynligt, at der maa ligge noget fælles til Grund for denne gennemgaaende Ensartethed, og for at finde denne fælles fundamentale Størrelse har Traube i Lighed med v. d. Waals taget sin Tilflugt til Overfladespændingen, og af dennes Ændring med Koncentrationen ment at kunne beregne et indre Tryk, der skulde svare til de Kræfter, der binder de opløste Molekyler til Opløsningsmidlets Molekyler.

At der imidlertid ikke findes nogen klar og simpel Sammenhæng mellem Overfladespændingen og de øvrige Egenskaber, har vi tilfulde erfaret i det foregaaende; det gælder iøvrigt for Traubes som for alle andres Forsøg paa at knytte Stoffernes forskellige Egenskaber sammen ved Hjælp af indre Tryk, at de opstillede Relationer kun passer i Hovedtrækkene — og meget ofte kun paa et ret begrænset Forsøgsmateriale.

Søger man at gøre Rede for de mange Afvigelser eller at foretage Beregninger, støder man hurtigt paa Indflydelsen af Stoffernes individuelle Ejendommeligheder. Derfor maa, mener Richards[27]) Sammentrykkeligheden og de dermed beslægtede Egenskaber være

Digitized by Google

betinget ikke blot af Rummet mellem Atomerne, men ogsaa af Atomernes eget Rumfang; med andre Ord at Trykket ikke blot presser Atomer og Molekyler tættere sammen, men ogsaa sammenpresser selve Atomerne — og til Rumfanget af Atomerne regner Richards tillige det, der kaldes deres Virkningsomraade.

Hypotesen om saadanne sammentrykkelige Atomer er f. Eks. i Overensstemmelse med at *b* i v. d. Waals Tilstandsligning, d. v. s. Atomernes Egetrumfang, ikke er konstant men er afhængigt af Tryk og Temperatur, og den gør det forstaaeligt, at Stofferne endnu ved det absolutte Nulpunkt er kendeligt sammentrykkelige — som det fremgaar af Grüneisens[28] Maalinger ved meget lave Temperaturer.

Ved det absolutte Nulpunkt maa Atomerne nemlig, da Varmebevægelsen er ophørt, lægge sig lige klods op ad hinanden, og Stoffet følgelig blive fuldstændig usammentrykkeligt, saafremt Atomerne var det.

I Stedet for at tillægge Atomerne et sammentrykkeligt Rumfang kan man dog ogsaa som Grüneisen[28]) og senere Forskere antage, at frastødende Fjernkræfter holder Atomerne i bestemte Afstande fra hinanden. Det bliver omtrent det samme, men er i bedre Overensstemmelse med den nugældende Opfattelse af Atomernes Struktur, der ikke er forenelig med nogen Rumfangsbegrænsning. Richards Hypotese, der har været en udmærket Arbejdshypotese, kan derfor nu betragtes som en passende Overgang fra den kinetiske Teoris haarde Kugler til Atomerne af negative Elektroner kredsende omkring positive Kerner. For disse sidste bliver Spørgsmaalet om deres Sammentrykkelighed et Spørgsmaal om, hvorvidt og hvorledes Elektronernes Baner og Energiforhold ændres ved Trykket.

Foreløbig vil vi nu nøjes med at betragte Atomernes Svingninger. Næsten alle krystallinske Stoffer, hvortil ogsaa Metallerne regnes, antages nu paa Grund af deres Røntgenspektre at være opbyggede ikke af Molekyler men af enkelte Atomer, der svinger om Ligevægtsstillinger, i et Rumgitter, der ofte svarer til Krystalformen. Disse Svingningers Frekvens d. v. s. Antallet af Svingninger i Sekundet viser sig mere og mere som en fundamental Egenskab, hvoraf man kan beregne saavel elastiske som termiske og optiske Konstanter.

Den første, det lykkedes at beregne Atomfrekvenser af Sammentrykkelighed var Madelung[29]), hvis Ligning ganske svarer til den Einstein[30]) i 1911 — Aaret efter — udledede ud fra helt andre Forudsætninger.

Digitized by Google

Efter Einstein er ($\nu = 3{,}3 \cdot 10^7 \cdot M^{-1/2} \cdot \varrho^{-1/6} \cdot \beta^{-1/2}$) Atomfrekvensen lig med $3{,}3 \cdot 10^7$ divideret med Kubikroden af Atomvægten M, med den 6te Rod af Vægtfylden ϱ og med Kvadratroden af Sammentrykkeligheden β, udtrykt i Dyn pr. cm^2.

Som det ses, bliver altsaa Frekvensen størst, Svingningerne hurtigst, naar Sammentrykkeligheden er mindst. Da Atomerne forudsættes at udføre rellinede pendulagtige Svingninger, maa Kraften, der fører dem mod Midtstillingen, være størst for de hurtigste Svingninger, og vi ser da her igen, at jo større de indre Kræfter er, jo mindre er Sammentrykkeligheden. Ligeledes genfinder vi ved Atomsvingningerne Sammentrykkelighedens tidligere omtalte Afhængighed af Tryk og Temperatur og af Varmeudvidelse og Varmefylde. Det er udregnet af Grüneisen[28]), der tilmed ved rent kinetiske Betragtninger har kunnet opstille en Tilstandsligning for faste Stoffer.

Tabel 5.

Atomfrekvenser (ν) og Sammentrykkelighed (β) af Metaller.

	Nernst Lindemann	Einstein	Bernoulli	Grüneisen
Al	8,45	7,9	1,21	1,31
Ni	8,0	7,9	0,53	0,57
Fe	8,4	7,6	0,51	0,62
Cu	6,7	6,6	0,73	0,73
Ag	4,6	4,8	1,02	0,92
Pb	2,0	2,2	3,47	3,2
Zn	4,9	4,6		
Cd	2,9	3,1		
Si	13,0	14,7		

Forholdet til Varmefylden kan vel udledes af denne Ligning, men det træder tydeligere frem, naar det erindres, at man ved Hjælp af Kvanteteorien kan beregne Atomfrekvensen af Varmefylden. I Tabel 5 findes Frekvenserne dels beregnet af Varmefylden med Nernst-Lindemanns Formel, dels af Sammentrykkeligheden med Einsteins Formel. Man kan følgelig ogsaa omvendt beregne Sammentrykkeligheden af de Atomfrekvenser, der er fundne ved Hjælp af Varmefylden. En saadan Beregning er udført i Fjor af Bernoulli[31]), der samtidig har vist, hvorledes Einsteins Formel,

Digitized by Google

tilmed med en rigtigere Konstant — nemlig $3{,}226 \cdot 10^7$ —, kan udledes meget simpelt af Molekylernes kinetiske Svingningsenergi, uden at det er nødvendigt at antage nogen frastødende eller tiltrækkende Kraft mellem Molekylerne. I Tabellens 4de og 5te Kolonne er anført de af Bernoulli beregnede og i god Overenstemmelse dermed de af Grüneisen bestemte Sammentrykkelighedskoefficienter for 6 Metaller.

Da Lindemann[32]) har kunnet udtrykke Sammenhængen mellem Grundstoffernes Smeltepunkt, Atomvolumen og deres Atomers Frekvenser i en let anvendelig Ligning, og da Koref[33]) har fundet, hvorledes Frekvensen af Grundstoffernes Atomer ændres, naar de indgaar kemiske Forbindelser med hinanden, vil man sandsynligvis ud fra Atomernes Svingninger ogsaa kunne regne sig til Sammentrykkelighedens tidligere fundne Afhængighed af Atomvolumen, Smeltepunkt og det, Richards kaldte Affinitetstrykket.

Det ligger nær at forsøge paa at finde de beregnede Frekvenser ad spektralanalytisk Vej. Det er dog ikke gørligt, da Metallernes Atomer som Helhed er uelektriske og derfor ikke kan paavirke elektriske Straaler. Anderledes er det med Stoffer som Natriumklorid, der indeholder positivt ladede Natriumatomer og negativt ladede Kloratomer. Det har virkelig vist sig, at Natriumklorid har et Spektralbaand ved ca. 53 μ svarende til en Frekvens, der er $5{,}7 \cdot 10^{12}$, medens de Frekvenser, der beregnes af Varmefylden, er $5{,}9 \cdot 10^{12}$.

Det er nu lykkedes Bernoulli[34]) at finde en Relation mellem Sammentrykkeligheden og de af Rubens og Hollnagel[35]) bestemte Bølgelængder af forskellige Saltes Reststraaler, d. v. s. de Straaler, der fremkommer ved flere Gange gentagen Tilbagekastning fra Saltenes Overflader. Det bliver derved muligt at beregne Sammentrykkeligheden af Bølgelængden og omvendt. Bernoullis Beregninger giver tilfredsstillende Resultater ikke blot for Alkalihalogenidernes toatomede Salte, men endog for de mere kompliceret byggede Krystaller af Flusspat, Kalkspat og Bjergkrystal. Eksempelvis kan jeg nævne, at for Natriumklorid, hvor de til Kloratomet og Natriumatomet svarende Bølgelængder er henholdsvis 53,6 og 46,9 μ, beregnes Sammentrykkeligheden til henholdsvis 4,8 og $4{,}9 \cdot 10^{-6}$, medens Richards fandt $5{,}0 \cdot 10^{-6}$. For Flusspat er de beregnede Værdier for Fluor og Calcium 1,27 og 1,34, medens den iagttagne Sammentrykkelighed er $1{,}20 \cdot 10^{-6}$.

Digitized by Google

Endnu et Skridt videre er Born gaaet, idet han i kubiske Krystalgitre, opbygget af Bohr'ske Atomer, har beregnet Afstanden mellem to Atomer kun ved Hjælp af universelle Konstanter og hele Tal, f. Eks. Atomnumre, Valenstal o. s. v. Born og Landé[30]) benytter derefter denne Gitterkonstant til Beregning af Sammentrykkeligheden under Forudsætning af, at to Ringsystemer i tilstrækkelig ringe Afstand virker paa hinanden med en Kraft, der er omvendt proportional med 5te Potens af Afstanden. Derved finder de ganske vist, at de konstruerede Krystalgitre bliver omtrent dobbelt saa bløde som de virkelige, men forudsættes en Ændring af Kraften med 9ende Potens af Afstanden, giver Beregningen Værdier, der stemmer fortrinligt med de eksperimentelt fundne. Denne høje Potens kræver imidlertid en Antagelse af, at Elektronernes Baner ikke ligger i en Plan, men er rumlige, hvad der jo ogsaa synes naturligst.

Ejendommeligt nok viser en af Born og Landés Ligninger. at Sammentrykkeligheden — under visse Forudsætninger — er lig med en Konstant multipliceret med Atomvolumenet, saaledes som Richards for mange Aar siden har fundet det ved mere kvalitative Overvejelser.

Det maa dog erindres, at alle de nævnte Betragtninger af Atomers og Elektroners Svingninger endnu kun gælder faste Stoffer og endda kun saadanne med ret simpelt byggede Rumgitre.

For ingen af de Teorier, jeg har omtalt i Aften, har jeg gjort Rede for de ofte lange og vidtløftige matematiske Udviklinger, der viser deres Berettigelse, Anvendelighed og Begrænsning; jeg har undladt det, fordi det i denne Sammenhæng kun gjaldt om at pege paa den Betydning, Kendskabet til Sammentrykkeligheden har haft for Opfattelsen af de molekylære Kræfter og Bevægelser, og fordi det navnlig har været min Hensigt at vise, hvorledes man for at forstaa og forklare Sammenspillet mellem de forskellige Egenskaber først har prøvet ud fra en enkelt at slutte sig til indre Tryk og derefter har benyttet Atomernes Svingninger for endelig at vove en Beregning af Kraftfordelingen i selve de elektromagnetiske Felter, som frembringes af Atomdelenes Svingninger, og hvorledes Forstaaelsen af og Kendskabet til Sammentrykkeligheden stadig har haft en vejledende og støttende Betydning for denne Udvikling.

Den polytekniske Læreanstalts kemiske Laboratorium B.
København, Oktober 1919.

Digitized by Google

Litteraturhenvisninger.

1) H. C. Ørsted: Oversigt over det kgl. danske Vidensk. Selskabs Forhandlinger. 1818—19; 1822—23; 1826—27; 1827—28; 1832—33. Ann. d. Physik *9*, 603 (1827); *12*, 158 og 513 (1828).
2) Colladon og Sturm: Ann. de Chim. et de Phys. (2) *35*, 113 og 225 (1827); samme Afhandling i Ann. d. Physik (2) *12*, 39 og 161 (1828).
3) Amagat: Ann. de Chim. et de Phys. (6) *29*, 68 og 505 (1893); heri en Oversigt over Amagats Arbejder.
4) Cailletet: Compt. rend. de Paris *70*, 113 (1872).
5) Gilbaut: Zeitschr. physik. Chem. *24*, 385 (1897).
6) Tait: Proc. Roy. Soc. Edinburgh *13*, 2 (1884—85).
7) Richards: Carnegie Institution. Publications Nr. 7 (1903) og Nr. 76 (1907); Journ. Amer. Chem. Soc. *34*, 974 (1912). Staalpiezometret: Journ. Amer. Chem. Soc. *37*, 470 (1915).
8) Bridgman: Proc. Amer. Acad. of Arts and Science (Boston) *44*, Nr. 8, 9 og 10 (1909); *47*, Nr. 11 og 12 (1911) og Nr. 13 (1912); *49*, Nr. 1 (1913) og Nr. 11 (1914).
9) Adams, Williamson og Johnston: Journ. Amer. Chem. Soc. *41*, 12 (1919).
10) Richards: Ibid, *34*, 973 (1912) (undtagen Kviksølv).
11) Tumlirz: Sitzungsber. d. Wiener Acad., math.-nat. Kl. *118*, 203 (1909).
12) Bridgman: Proc. Amer. Acad. of Arts. and Science *48*, Nr. 9 (1912).
13) Bridgman: Ibid. *47*, Nr. 13 (1912).
14) Richards og Boyer: Journ. Amer. Chem. Soc. *41*, 133 (1919).
15) Röntgen og Schneider: Ann. d. Physik (3) *29*, 195 (1886).
16) Tait: Proc. Roy. Soc. Edinburgh, *20*, 63 (1892).
17) Drucker: Zeitschr. physik. Chem. *52*, 641 (1905).
18) Richards og Palitzsch: Journ. Amer. Chem. Soc. *41*, 61 (1919).
19) Palitzsch: Ibid. *41*, 346 (1919).
20) Tammann: »Ueber die Beziehungen zwischen den inneren Kräften und Eigenschaften der Lösungen« 1907. Leipzig.
21) Richards: Journ. Amer. Chem. Soc. *38*, 1649 (1916).
22) Richards: Ibid. *31*, 158 (1908); *36*, 2431 (1914).
23) Richards: Ibid. *30*, 11 (1908); Zeitschr. physik Chem. *61*, 451 (1908).
24) Geffcken: Ibid. *49*, 257 (1904).
25) Ritzel: Ibid. *60*, 319 (1907).
26) Traube: Arch. ges. Physiol. (Pflügers) *132*, 511 (1910); *140* 109 (1911).
27) Richards: Journ. Amer. Chem. Soc. *36*, 2417 (1914).

Digitized by Google

[28]) Grüneisen: Ann. d. Physik. *39*, 291 (1912); »Molekulartheorie der festen Körper« 1913. En udmærket Oversigt findes i Jellineck: »Lehrbuch der physik Chem.« II.
[29]) Madelung: Physik. Zeitschr. *11*, 898 (1910).
[30]) Einstein: Ann. d. Physik. (4) *34*, 170 (1911).
[31]) Bernoulli: Helvetica chim. acta *1*, 278 (1918).
[32]) Lindemann: Physik. Zeitschr. *11*, 609 (1911).
[33]) Koref: Ibid. *13*, 183. (1912).
[34]) Bernoulli: Helvetia chim. acta *1*, 289 (1919).
[35]) Rubens og Hollnagel: Ber. Deutsch. Physik. Ges. *12*, 83 (1910).
[36]) Born og Landé: Ibid. *20*, 210 (1918).
[37]) Ernst Cohen og W. Schut: Piezochemie. Leipzig 1919.

Nogle Eksempler paa Elektronteknik.

Referat ved J. C. Jacobsen af et Foredrag af Professor P. O. Pedersen*).

Naar en Traad af Kul eller Metal opvarmes til Glødhede, afgiver den som bekendt Elektroner; i det følgende er det kun Forholdene i højt Vakuum, der har Interesse. Anbringer man i Nærheden af Glødetraaden en Metalplade, der holdes paa positiv Spænding, gaar der en Strøm af Elektroner fra Traaden til Metalpladen. Strømstyrken kan i Almindelighed fremstilles ved Richardsons Ligning

$$i = a\sqrt{T}e^{-\frac{b}{T}},$$

hvor a og b er Konstanter og T Glødetraadens absolutte Temperatur. Formlen giver i Almindelighed god Overensstemmelse med Forsøgene, men man har ogsaa fundet temmelig paafaldende Undtagelser; f. Eks. bevirker en ganske ringe Mængde Brint i Apparatet, at man faar en enorm Forøgelse af Strømmen fra en glødende Platintraad. Hvis man indsætter de ældre Værdier for a og b for Kul i Richardsons Ligning, faar man, at man med den Temperatur, der findes i en almindelig Glødelampe, skulde faa en Elektronstrøm paa flere Amp./cm^2; ved Forsøg er det let at vise, at Strømmen kun beløber sig til nogle faa Milliamp.

Disse og andre lignende Iagttagelser gjorde, at der for nogle Aar siden rejstes Tvivl om Fænomenets Realitet; man kom efterhaanden

*) Holdt i Fysisk Forening d. 27. Novbr. 1919.

Digitized by Google

ind paa den Opfattelse, at Elektronemissionen fra glødende Legemer kun var en sekundær Virkning af kemiske Reaktioner mellem Glødetraaden og Luftresten i Apparatet. I 1913 fremkom der saa en Afhandling af Langmuir, der paa det nærmeste opklarede Spørgsmaalet. Det blev her vist, at der virkelig finder en Udsendelse Sted af Elektroner, og at Uregelmæssighederne i al Fald i mange Tilfælde kan henføres til Indflydelsen af en negativ Rumladning. Da Resultaterne har Betydning for det følgende, skal der her gives et kort Resumé af Langmuirs Arbejde.

Forsøgene blev udført med en Slags Glødelampe, der indeholdt to

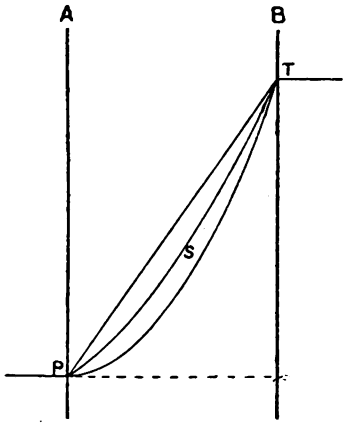


Fig. 1.

u-formede Wolframtraade, hvoraf den ene benyttedes som Glødekatode, den anden som Anode. Under Udpumpningen blev hele Apparatet holdt opvarmet til 360° i en Time for at fjerne Vanddamp, Luftrest o. s. v. saa fuldstændigt som muligt. Paa Fig. 2 er vist nogle af Forsøgsresultaterne. Som Abscisse er afsat Glødetraadens absolutte Temperatur, som Ordinat Strømstyrken i Amp. pr. cm^2. De tre Kurver er optagne med Anodespændinger paa henholdsvis 60, 120 og 240 Volt. Man ser, at man med stigende Temperatur faar en Mætningsstrøm, der er desto stærkere, jo højere Anodens Spænding er. Langmuir viste nu, at Mætningsstrømmens Optræden skyldes Tilstedeværelsen af en rumlig fordelt negativ Ladning mellem Glødetraaden og Anoden. Teorien kan kort gengives som følger:

Vi betragter to uendelige, parallele Planer *A* og *B* (Fig. 1), hvoraf

Digitized by Google

A opvarmes til Glødhede, medens B holdes paa en positiv Spænding. Som en første Tilnærmelse antager vi, at Elektronerne bevæger sig med konstant Hastighed v i Mellemrummet; Tætheden $\varrho = \frac{1}{v}$ er da ogsaa konstant, og det følger af Laplace's Ligning

$$\nabla^2 V = -4\pi\varrho$$

eller

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = -4\pi\varrho,$$

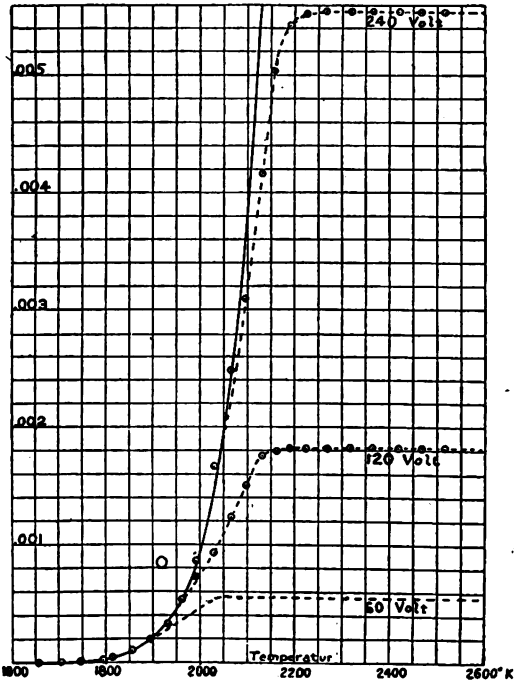


Fig. 2.

at Potentialet vil variere efter en Parabel PST; den rette Linie PT viser Potentialets Variation, naar der ingen Elektroner findes i Mellemrummet. Sætter man Temperaturen op, vil Elektrontætheden vokse, indtil Kurven bliver en Parabel med en vandret Tangent i P. Strømmen har nu naaet sin Maksimumsværdi; en yderligere Forøgelse af Elektrontætheden vilde nemlig give et Spændingsfald

Digitized by Google

umiddelbart op til den glødende Plade, der vilde drive Elektronerne tilbage igen, naar de, som her er forudsat, kommer ud uden nogen kendelig Begyndelseshastighed. Virkningen af Rumladningen er altsaa, at der optræder en Mætningsstrøm med stigende Temperatur af Katoden. Den optrukne Kurve paa Fig. 2 fremstiller den Kurve, som man vilde faa, hvis Richardsons Ligning gjaldt nøjagtigt; det er altsaa den Kurve, som man vilde faa, hvis Anodens Potential var tilstrækkelig højt til at føre alle de frigjorte Elektroner over til Anoden.

En mere nøjagtig Løsning faar man paa følgende Maade. Lad V være Potentialet i en Afstand x fra Pladen A (Fig. 1); den kinetiske Energi af en Elektron, der har gennemløbet Afstanden x fra Pladen A, er

$$\tfrac{1}{2} m v^2 = Ve;$$

Strømmen pr. cm^2 er

$$i = \varrho \cdot v;$$

endelig gælder Laplace's Ligning

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = 4\pi\varrho,$$

idet vi for Simpelheds Skyld regner e og ϱ positive.

Eliminerer man af de 3 Ligninger ϱ og v, faar man

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = 2\pi \sqrt{2} \sqrt{\frac{m}{e}} \cdot \frac{i}{\sqrt{V}};$$

ved Multiplikation med $2\frac{dV}{dx}$ og Integration faas

$$\left(\frac{dV}{dx}\right)^2 - \left(\frac{dV}{dx}\right)_0^2 = 8\pi i \sqrt{\frac{2mV}{e}};$$

da vi her kun interesserer os for Mætningsstrømmen, kan vi sætte $\left(\frac{dV}{dx}\right)_0 = 0$. Man faar altsaa

$$\frac{dV}{dx} = \sqrt{8\pi i} \sqrt[4]{\frac{2mV}{e}},$$

$$i = \frac{\sqrt{2}}{9\pi} \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{V^{\frac{3}{2}}}{x^2}.$$

Digitized by Google

Denne Formel giver Tætheden af den maksimale Elektronstrøm mellem to uendelige parallele Planer med Afstanden x og med en Spændingsforskel V; det forudsættes som nævnt, at Elektronerne kommer ud uden nogen kendelig Begyndelseshastighed. Det kan vises, hvad vi her ikke skal gaa nærmere ind paa, at Mætningsstrømmen altid vil være proportional med $V^{\frac{3}{2}}$, uafhængig af Elektrodeformen.

Disse Elektronstrømme i højt Vakuum har i de seneste Aar faaet en udstrakt teknisk Anvendelse, navnlig i Modtagerapparater til traadløs Telegrafi. Det er for en stor Del Krigsforholdene, der har gjort, at den tekniske Udformning er foregaaet saa hurtigt.

Vi vil først betragte Anvendelsen til Ensretning af højspændte Vekselstrømme. En saadan Ensretter (»Kenotron«) bestaar af et evakueret Rør, hvori der findes en Glødetraad og en Anode. Anoden bestaar i Praksis af to Plader, en paa hver Side af Glødetraaden, for at undgaa for stærke elektrostatiske Kræfter. Naar Glødetraaden er

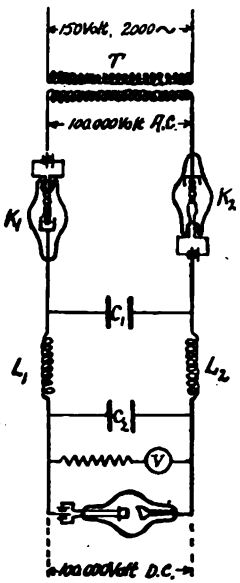


Fig. 3 a.

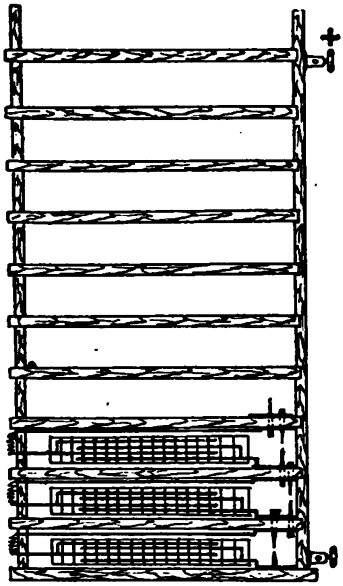


Fig. 3 b.

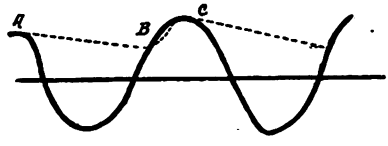
Katode, har Apparatet maaske en Modstand paa nogle hundrede Ohm, medens Modstanden i den anden Retning praktisk talt er uendelig. Ved Ensretning af højspændte Vekselstrømme har man kunnet frem-

Digitized by Google

bringe en konstant Spænding paa indtil 100 000 Volt, og der er ingen Tvivl om, at den vil kunne drives adskilligt højere.

Her skal beskrives en Opstilling, der i Amerika med udmærket Resultat har været anvendt til Drift af Røntgenrør. Opstillingen (Fig. 3 a) indeholder en Vekselstrømgenerator og en Transformator, 2 »Kenotroner«, 2 Kondensatorer C_1 og C_2 og to Selvinduktioner L_1 og L_2.

Generatoren giver 150 Volt med 2000 Perioder pr. Sek. Spændingen transformeres op til 100 000 Volt ved Hjælp af Transforma-



——— Transformatorspænding.
------- Spænding over C_1

Fig. 3 c.

toren T; Transformatorens Jernkærne er forsynet med et Luftmellemrum, da man ellers ikke kan faa Jernet afmagnetiseret ved saa højt Periodetal. For hver Periode modtager C_1 en vis Ladning gennem de to Kenotroner, som den under den resterende Del af Perioden afgiver gennem L_1 og L_2; paa Fig. 3 c er vist Variationen af Spændingen ved Polerne af C_1: Udladningen foregaar fra A til B, Opladningen fra B til C. Ved den her beskrevne Opstilling varierede Spændingen ved Polerne af C_1 25 pCt. under hver Periode. C_1 og C_2 bestaar hver af 10 Kondensatorer paa 0,01 Mikrofarad, der er indskudt i Række, saa at den samlede Kapacitet for hver bliver 0,001 Mikrofarad. For at fordele den høje Spænding ligeligt over de enkelte Kondensatorer er der desuden anbragt en Slags Sikringer. Hvis nemlig en af Kondensatorerne af en eller anden Grund »lækker« mere end de andre, stiger Spændingen paa denne Kondensator, hvorved Ladningstabet bliver endnu større o. s. v., indtil der sker Gennemslag; derefter begynder det samme Spil forfra igen, indtil alle Kondensatorerne er ødelagte. En saadan Sikring bestaar simpelthen af to Synaale, der er anbragt med Spidserne i en passende Afstand; hvis Spændingen bliver for høj, sker der blot en Udladning over Spidserne (Fig. 3 b).

Af Fig. 3 c ses, at Spændingen ved Polerne af C_1 kan betragtes

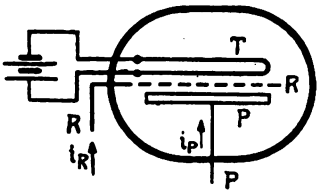
Digitized by Google

som en konstant Spænding + en Vekselspænding; disse to adskilles ved Hjælp af L_1, L_2 og C_2. Som Selvinduktioner benyttes Sekundærviklingen i en lille Transformator; L_1 og L_2 er hver af Størrelsesordenen 200 Henry; C_2 er indrettet paa samme Maade som C_1. Forholdet mellem Spændingsvariationerne ved Polerne af C_1 og C_2 er det samme som Forholdet mellem Impedanserne af C_2 og $C_2 + L_1 + L_2 =$

$$\frac{\frac{1}{C_2\omega}}{\frac{1}{C_2\omega} + (L_1+L_2)\omega} = \frac{1}{C_2\,(L_1 + L_2)\,\omega^2} = \frac{1}{64};$$

med en Variation paa 25 pCt. ved Polerne af C_1 faar man altsaa en Variation paa ca. $\frac{1}{2}$ pCt. ved Polerne af C_2. Ved Optagelser med Oscillograf har det vist sig, at Variationen var af den beregnede Størrelsesorden.

Man ser, at man med højt Periodetal kan nøjes med mindre Kapacitet, hvorved Opstillingen bliver billigere. Det bliver undertiden



Termionrør med 3 Elektroder.
T - Glødetraad. V_R *- Ristpotential,*
R - Rist. V_P *- Pladepotential,*
P - Plade. *Begge i Forhold til T.*

Fig. 4.

antaget, at en Selvinduktion alene vil virke udjævnende paa en pulserende Spænding; dette er naturligvis kun rigtigt, hvis der gaar Strøm igennem den. Kondensatoren C_2 er derfor nødvendig. Hvis man f. Eks. bruger Opstillingen til at drive et Røntgenrør af Coolidge-Typen, hvis Impedans er uendelig stor, vil Selvinduktionen ikke have nogensomhelst udjævnende Virkning paa Spændingen, hvis C_2 er fjernet.

Vi gaar nu over til at betragte de Resultater, som man kan opnaa

Digitized by Google

ved at anbringe en tredje Elektrode i et saadant Vakuumrør; Røret indeholder nu altsaa en Glødekatode, en Anode og imellem dem den saakaldte Rist, der som Regel bestaar af et Netværk af fine Metaltraade (Fig. 4).

Ved Indførelsen af Risten opnaar man paa en bekvem Maade at kunne variere Strømmen mellem Katode og Anode uden at behøve at variere Anodens Spænding. Da Elektronerne kommer ud fra Katoden uden nogen kendelig Begyndelseshastighed, er det klart, at der kun behøves et svagt elektrisk Felt mellem Katoden og Risten for helt at stoppe Udsendelsen af Elektroner; i det hele taget vil Apparatet være meget følsomt overfor Svingninger i Ristens Potential. For at Risten skal kunne give en effektiv Kontrol med Elektronstrøm-

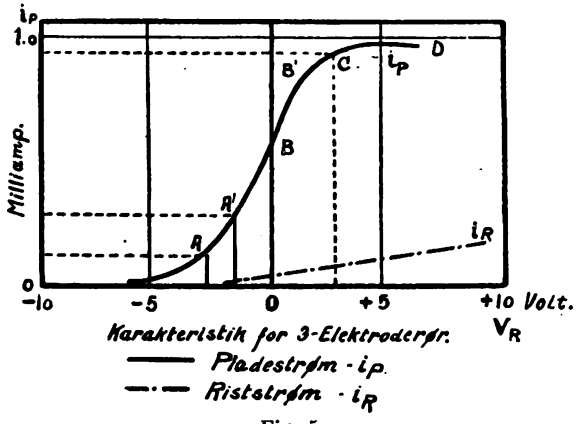


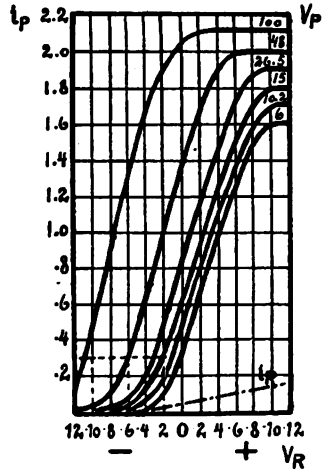
Fig. 5.

men, maa den være anbragt paa et Sted, hvor Elektronernes Hastighed er lille, altsaa tæt op til Katoden. De følgende Anvendelser af 3-Elektroderøret hviler udelukkende paa et empirisk Grundlag. Selv om Forstaaelsen af Ristens Virkemaade fysisk set ikke volder nogen Vanskelighed, er der alt for store matematiske Vanskeligheder, til at en eksakt Teori kan gennemføres. En Betragtning af Apparatets Karakteristik giver imidlertid ogsaa alt, hvad man behøver.

Paa Fig. 5 er vist en Karakteristik af et saadant Rør; som Abscisse er afsat Ristens Potential V_R i Forhold til Katoden, som Ordinat Strømmen i_p til Anoden; Anodens Spænding holdes altsaa konstant. Man ser, at Kurven forløber paa lignende Maade, som naar der er to Elektroder: Ved en vis negativ Ristspænding er Strømmen praktisk talt 0; ved positive Ristspændinger optræder der en Mætningsstrøm.

Digitized by Google

Med en højere Spænding paa Anoden forskydes Kurven til venstre, og Mætningsstrømmen bliver stærkere (Fig. 6). Naar man er naaet dertil, at alle de frigjorte Elektroner føres over paa Anoden (eller Risten), kan Strømmen naturligvis ikke blive stærkere; en yderligere Forøgelse af Anodespændingen vil kun forskyde den skraa Del af Kurven til venstre. Den Anodespænding, der bruges i Praksis, er ved de fleste Anvendelser betydelig lavere end den, der kræves til at give Mæt-



Karakteristikker for 3-Elektroderør ved forskellige Værdier af V_P.

Fig. 6.

ning. Den stiplede Linie paa Fig. 5 fremstiller Strømmen til Risten; man ser, at den kun er lille, og at den bliver 0 for en vis negativ Spænding (ca. 4 Volt).

Den simpleste Brug af et 3-Elektroderør er til Forstærkning af de Telefonstrømme, der bruges ved Modtagerstationer. Strøm og Spænding i Apparatet maa saa være afpasset saaledes, at man befinder sig paa den skraa Del af Karakteristiken; Pulsationer i Ristens Potential vil her bevirke tilsvarende Svingninger i Pladestrømmen.

Det er klart, at man paa denne Maade kan opnaa en meget kraftig Forstærkning, fordi den primære Strøm ikke behøver at være stærkere, end at den kan give Risten den nødvendige Spænding. I Praksis transformeres de primære Svingninger op til en passende

Digitized by Google

Spænding, som saa overføres til Risten. Siemens & Halske angiver, at der kan opnaas en Forstærkning paa indtil 35 Gange. En endnu kraftigere Forstærkning kan man opnaa ved at sætte 2 eller flere Rør i Række.

Paa de Dele af Karakteristiken, hvor Kurven krummer til den ene eller den anden Side, har Apparatet desuden ensrettende Virkninger. Hvis f. Eks. Ristens Potential undergaar smaa Variationer, der er lige store til begge Sider, omkring Punktet *A* (Fig. 5), vil Pladestrømmen ogsaa undergaa Variationer, men den vil i Middel blive forstærket; i Punktet *C* vil Pladestrømmen blive svagere.

En saadan Opstilling til Modtagelse af dæmpede Svingninger er

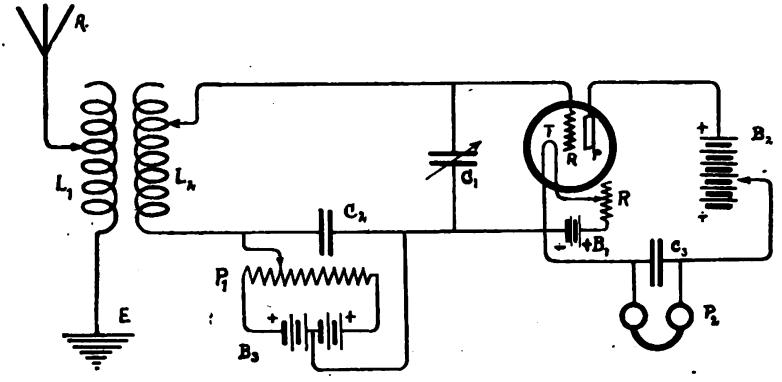


Fig. 7 a.

vist paa Fig. 7 a. Svingningerne i Antennen overføres til Kredsen $L_2C_1C_2$; Ristens Potential bringes herved til at variere med samme Frekvens som de elektriske Svingninger. Ved Hjælp af Batteriet B_3 indstiller man Apparatet paa et passende Punkt af Karakteristiken (Fig. 7 b). Svingningerne i Ristens Potential bevirker Svingninger i Pladestrømmen (Fig. 7 c); for hvert Sæt Oscillationer modtager Telefonene altsaa en Impuls, d. v. s. man hører en Tone. Som nævnt kunde man opnaa det samme ved at benytte Punktet *C* (Fig. 5); man foretrækker dog altid at bruge den nederste Del af Karakteristiken for ikke at faa unødvendig stærk Strøm gennem Apparatet.

Hvis man paa passende Maade kobler Kredsene Glødetraad—Plade og Glødetraad—Rist sammen, kan man bruge Apparatet som Generator for kontinuerlige Svingninger (Fig. 8). De to Kredse af-

Digitized by Google

stemmes til et bestemt Svingningstal ved Hjælp af Kondensatorerne C_1 og C_2. Koblingen sker ved Hjælp af Selvinduktionerne L_2 og L_3. Naar Pladestrømmen sluttes, induceres der i L_2 og L_3 en modelektro-

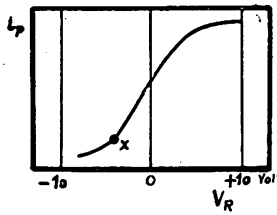


Fig. 7 b.

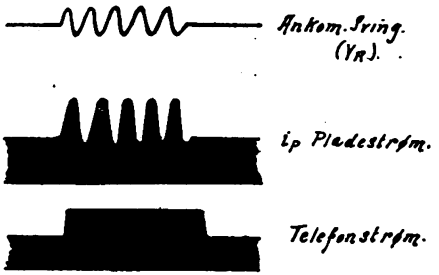


Fig. 7 c.

motorisk Kraft, der med den paa Figuren viste Anordning vil give Risten en positiv Spænding; et positivt Ristpotential bevirker en Forøgelse af Pladestrømmen, hvorved Ristpotentialet igen stiger o. s. v., indtil man er kommen op i Nærheden af Mætningsstrømmen; saa be-

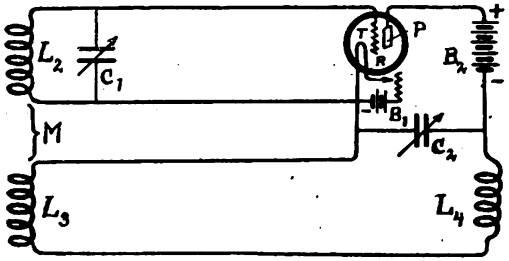


Fig. 8.

gynder Strømmen til Risten at gøre sig gældende; den vil inducere en elektromotorisk Kraft i L_2, som gaar i modsat Retning af den før nævnte, saa at Ristens Potential igen vil aftage; samtidig hermed aftager Pladestrømmen; paa Grund af den gensidige Induktion vil aftagende Pladestrøm bevirke aftagende Ristpotential o. s. v. Naar Pladestrømmen er aftaget tilstrækkeligt, forsvinder Indflydelsen af Koblingen, saa at Risten igen vender tilbage til Potentialet 0. Ved at afstemme Kredsene paa passende Maade kan man paa denne Maade frembringe Svingninger med et Svingningstal fra 1 op til 2 10^7.

Naar Apparatet bruges til Forstærkning, kan man forøge Virkningen ved at indrette en lignende Kobling mellem Rist og Plade.

Digitized by Google

Fig. 9 a viser en Modtagerstation til kontinuerte Svingninger. Ved Hjælp af en lokal Generator (Kredsen L_4C_3) inducerer man i Antennen kontinuerte Svingninger, hvis Svingningstal afviger med et pas-

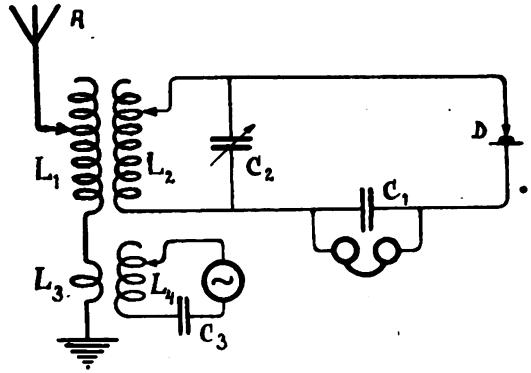


Fig. 9 a.

sende Beløb fra de ankommende Svingninger; Sammensætningen af de to Svingninger giver en Svingning med periodisk varierende Amplitude (Fig. 9 b); hvis Svingningstallet for de to Sæt Svingninger er

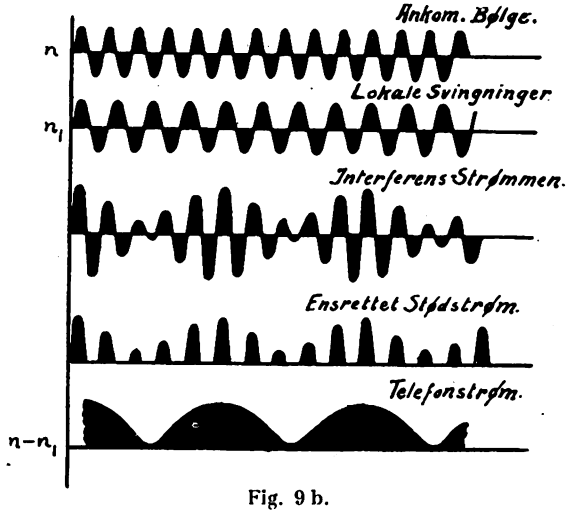


Fig. 9 b.

n og n_1, vil Amplituden i Interferensstrømmen faa et Svingningstal paa $n - n_1$; naar Interferensstrømmen derefter ensrettes, hører man i Telefonen en Tone med Svingningstallet $n - n_1$. Ensretteren D kan

Digitized by Google

være et 3-Elektroderør; som lokal Generator kan man bruge et andet 3-Elektroderør; ved en særlig Anordning kan man nøjes med et enkelt Rør, som altsaa virker baade som Generator og som Detektor.

I 1918 fremkom der en ejendommelig Modifikation af et 3-Elektroderør, den saakaldte Dynatron. Dynatronen bestaar af et evakueret Rør, der indeholder en Glødekatode, en gennemhullet Anode og en tredje Elektrode, den saakaldte Plade. Anordningen er vist paa Fig. 10 a. Anoden holdes paa konstant Spænding i Forhold til

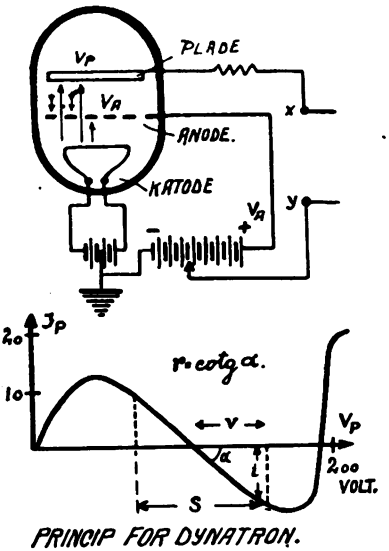
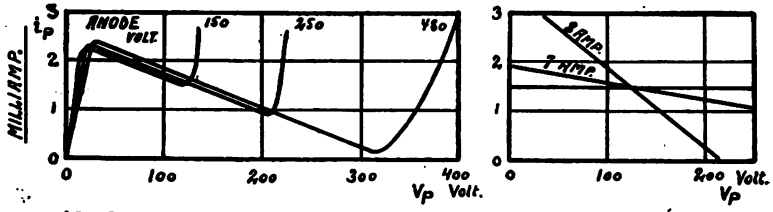


Fig. 10 a.

Glødetraaden, medens man kan variere Pladens Spænding; Anoden er altid positiv i Forhold til Pladen. Anodens Spænding varieres ikke under Brugen, og Anoden tjener i det hele taget kun til at give Elektronerne fra Glødetraaden en vis Hastighed og til at føre de sekundære Elektroner bort, der afgives fra Pladen. Nogle af Elektronerne fra Glødetraaden gaar gennem Hullerne i Anoden og træffer Pladen *P*. Hvis *P* er paa lav Spænding i Forhold til Glødetraaden, vil Elektronerne give en Strøm i den ydre Ledning; naar *P*'s Spænding sættes op, træffes den af Elektronerne med større Hastighed, og naar Hastigheden er tilstrækkelig stor, vil *P* begynde at afgive sekundære Elektroner, som saa føres over paa den mere positive Anode. Den

Digitized by Google

Elektricitetsmængde, som P modtager, er Differensen mellem Antallet af primære og Antallet af sekundære Elektroner. Antallet af primære Elektroner kan regnes for konstant; Antallet af sekundære vokser derimod hurtigt med voksende Pladespænding og kan blive adskil-

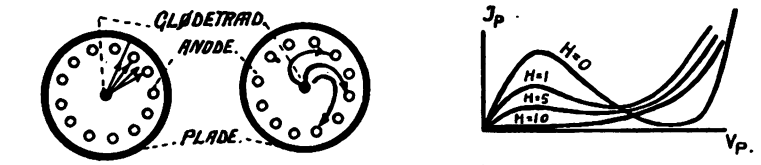


DEN FALDENDE KARAKTERISTIKS AFHÆNGIGHED AF ANODEPOTENTIAL OG AF GLØDETRAADENS TEMPERATUR.

Fig. 10 b.

lige Gange større end Antallet af primære; hver primær Elektron kan give indtil 20 sekundære.

Resultatet heraf er en Karakteristik som vist paa Fig. 10 a; Abscissen er Pladens Spænding i Forhold til den negative Ende af Glødetraaden, Ordinaten Strømmen til Pladen. Ved lave Spændinger er Strømmen kun lille, fordi kun de Elektroner, der kommer fra den negative Ende af Glødetraaden, kan naa over til Pladen. Naar Plade-



UDEN MAGNETFELDT. MED MAGNETFELDT. MAGNETISK KONTROL AF DYNATRON.

Fig. 10 c.

spændingen er omtrent 25 Volt, modtager Pladen hele den primære Elektronstrøm. Sættes Spændingen yderligere op, begynder Afgivelsen af sekundære Elektroner, d. v. s. Strømmen vil aftage. Ved en Pladespænding paa 100 Volt kommer der lige saa mange sekundære som primære, saa at den samlede Strøm bliver 0. Er Spændingen over 100 Volt, kommer der flere sekundære end primære, d. v. s. at Pladestrømmen gaar i modsat Retning af Spændingen. Tilsidst kommer der saa mange sekundære Elektroner, at Anoden ikke har tilstrækkelig Spænding til at føre dem bort; Pladestrømmen bliver igen

Digitized by Google

0 og stiger derefter hurtigt til en Værdi, der svarer til Antallet af primære Elektroner.

Inden for Omraadet S (Fig. 10 a) vil Dynatronen opføre sig som en Leder med negativ Modstand. Da Karakteristiken paa det nærmeste er retliniet, har man

$$i = \frac{E}{-r} + i_0 ,$$

hvor $r = \operatorname{col} \alpha$ er den numeriske Værdi af Modstanden. Giver man Pladen den Spænding, der svarer til Pladestrømmen 0 (Skæringspunktet med Abscisseaksen), kan man sætte $i_0 = 0$; en ydre elektromotorisk Kraft E_1 vil saa give en Strøm gennem Apparatet

$$i_1 = \frac{E_1}{-r} .$$

Værdien af den negative Modstand og det Omraade, inden for hvilket Modstanden er negativ, afhænger af Glødetraadens Temperatur, Anodens Spænding og til en vis Grad af Apparatets Konstruktion. En Variation af Anodens Spænding vil ikke forandre den negative Modstand kendeligt, men vil kun forandre Længden af den faldende Del af Karakteristiken (Fig. 10 b). En Variation af Glødetraadens Temperatur vil variere Værdien af den negative Modstand uden at forandre V_0.

Hvis man sætter Dynatronen med Modstanden $\div r$ i Række med en Modstand R, kan den samlede Modstand blive meget lille. Kaldes Spændingerne e_1 og e_2 og den samlede Spænding E, har man

$$e_1 = IR, \quad e_2 = \div Ir, \quad E = I\,(R \div r),$$

altsaa

$$\frac{e_1}{E} = \frac{R}{R - r}$$

Dette Forhold kan man gøre meget stort ved at gøre R og r næsten lige store; med konstante Batterier er der paa denne Maade opnaaet en Spændingsforstærkning paa indtil 1000 Gange.

Sætter man Dynatronen parallelt med en Ohmsk Modstand, kan

Digitized by Google

Apparatet bruges til Forstærkning af Strømme. Kaldes den samlede Strøm I, Strømmen i den Ohmske Modstand I_R og Strømmen i Dynatronen I_r, har man

$$I + I_r = I_R, \quad I_R \cdot R = I_r \cdot r,$$

altsaa

$$\frac{I_r}{I} = \frac{R}{r-R}.$$

Da Dynatronen har en faldende Karakteristik, kan den bruges som Generator for kontinuerte Svingninger; herpaa vil vi dog ikke gaa nærmere ind.

I den praktiske Udførelse bestaar Glødetraaden af en Wolframspiral; Anoden er en Cylinder, som enten bestaar af en gennemhullet Plade eller af et Netværk af Wolframtraad. Uden for Anoden og tæt op til den er Pladen anbragt.

Hvis man anbringer Apparatet i et Magnetfelt, hvis Kraftlinier gaar parallelt med Cylinderens Akse, sker der en fuldstændig Forandring med Karakteristiken. Elektronerne, som før bevægede sig i omtrent rette Linier, tvinges nu til at bevæge sig i Spiraler og rammer Anoden mere eller mindre tangentielt, saa at en større Del af dem stoppes af den; Resultatet er en stærk Formindskelse af det Antal, der rammer Pladen; en lignende Virkning udøves paa de sekundære Elektroner fra Pladen. Resultatet er vist paa Fig. 10 c, hvor hver Kurve svarer til en bestemt Feltstyrke. Man ser, at Kurverne med voksende Feltstyrke bliver fladere og snart gaar over til at blive stigende i Stedet for faldende. Man kan altsaa ved at variere Magnetfeltet gaa over fra negativ til positiv Modstand.

Fysik i Skolen.

Elektrisk Spænding.

Et Bidrag til Undervisningsmetodik. Af H. Jepsen.

Efterhaanden som Elektroteknikken har faaet en ret fremtrædende Plads ved Undervisningen, er det blevet nødvendigt at give en nogenlunde fyldig Fremstilling af de elektriske Maaleenheder, og ad-

Digitized by Google

skillige Forhold indenfor Elektrostatikken, som tidligere toges med, har maattet vige Pladsen. Det mest rationelle vilde uden Tvivl være helt at bygge Elektricitetslæren paa det galvaniske Element som Udgangspunkt; dette har imidlertid kun enkelte Forfattere gjort, de fleste behandler elektriske Grundforsøg, hvorved Eleverne faar et omend svagt Begreb om Elektricitetsmængde, samt elektrisk Fordeling og elektrisk Spænding. Dette sidste Spørgsmaal turde være det vigtigste, og jeg kan ikke se nogensomhelst anden Grund til at lage Elektrostatik med ved den første Undervisning end

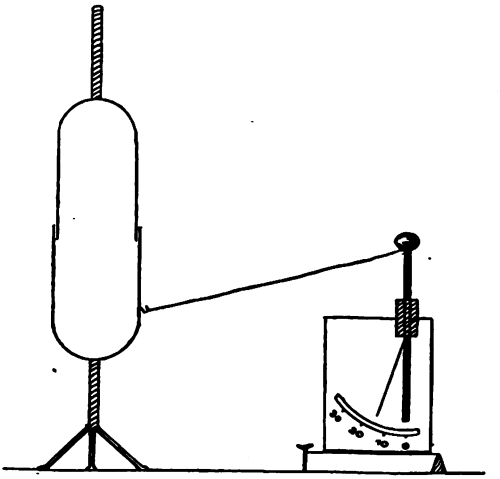


Fig. 1.

for derigennem at klare Elevernes Forstaaelse af dette Begreb; men i saa Fald forekommer det mig, at Fremstillingen ofte lider af adskillige Mangler, og ikke mindst savnes der en Forbindelse mellem Spænding, som den maales i Elektrostatikken, og som den maales ved strømmende Elektricitet; for Eleverne maa de to Ting staa, som om de ikke har noget med hinanden at gøre.

Hensigten med de følgende Linier er et Forsøg paa at give et Bidrag til dette Afsnits Metodik ved den første Undervisning. At definere Spænding som et Arbejde vil være for abstrakt for Begyndere, og deres Kendskab til Begrebet Arbejde vil ogsaa være utilstrækkeligt. Behandlingen maa straks bygges paa Forsøg, derfor anser jeg de almindeligt benyttede Sammenligninger mellem Spænding og Temperatur eller lignende for ret værdiløse. Ved Sammenligninger er der altid den Fare, at Begynderen opfatter Fænomenerne, der sammen-

Digitized by Google

lignes, som identiske, og jeg kan heller ikke se, at Eleverne ved en Sammenligning mellem Temperatur og Spænding er kommen Sagen et Skridt nærmere. Eleverne ved maaske i Forvejen, at Temperatur er noget, man maaler med et Termometer, og faar nu at vide, at Spænding er en elektrisk Tilstand, der kan maales, men hvorledes, kan Sammenligningen ikke fortælle dem noget om. At Spænding kan maales ligesom andre fysiske Størrelser, vil ikke falde Eleverne besynderligt, da det er noget, de har mødt hele Tiden ved Undervisningen. Den mest bemærkelsesværdige Lighed mellem Spænding og Temperatur vil for Begynderen vel snarere være Manglen paa en Definition af Enheden.

Jeg mener derfor, at man bør gaa lige til Sagen og definere elektrisk Spænding som en Størrelse, man maaler med et Elektrometer, og at vi i Elektroskopet har et Apparat, hvormed man i hvert Fald kan sammenligne Spændinger.

Til de indledende Forsøg benytter jeg et Apparat, der bestaar af to Cylindre, den ene kan skydes ind i den anden. Gnidningsmodstanden er saa stor, at den øverste Cylinder ikke af sig selv kan glide ned. Den nederste Cylinder ender forneden i en Kuglekalot, hvorfra udgaar en Ebonitstang, der sidder paa en Jærnfod. Den øverste Cylinder har en Kuglekalot foroven med et Haandtag af Ebonit. Elektrometret er Bruno Kolbes Konstruktion. Som ovenfor nævnt begynder jeg med en Definition: Elektrisk Spænding maales ved et Elektrometer, og Udslagets Størrelse er ligefrem proportional med Spændingen. Dette sidste gælder vel næppe helt for meget smaa og meget store Udslag, men indenfor de Grænser, hvor vore Undersøgelser falder, er det rigtigt. Som Enhed sættes foreløbig den Spænding, der frembringer et Udslag paa 1^0.

Jeg foretager derefter følgende Forsøg:

1. Cylinderen forbindes med Elektrometret ved en lang, tynd Kobbertraad, og Cylinderen lades til en passende Spænding. Er Spændingen større end man ønsker, kan man let aflede lidt Elektricitet ved at berøre Cylinderen med en Negl. Da Horn er en Halvleder, synker Spændingen meget langsomt, og man kan let faa Aluminiumsbladet til at staa ud for et hvilket som helst Tal paa Gradbuen.

2. Nærmes et elektrisk ladet Legeme til Cylinderen, vil Elektrometrets Udslag forandres, hvoraf følger, at Spændingen er afhængig af Omgivelsernes elektriske Tilstand.

Digitized by Google

3. Forbindes Elektrometrets Knop med Jorden, bliver Spændingen Nul, hvad enten det har positiv eller negativ Spænding. Derfor sætter man Jordens Spænding til Nul. Af 2 og 3 følger, at Elektrometrets Metalvægge maa være afledede til Jorden under Forsøgene.

Den øverste Cylinder skydes ind i den nederste. Elektricitetsmængden er uforandret, men Spændingen vokser. Trækkes Cylinderen atter op, falder Spændingen til samme Værdi som før. Spændingen vokser, naar Overfladen tager af. (At Elektriciteten sidder kun paa Overfladen af en Leder er kendt og undersøgt.)

5. Den øverste Cylinder fjernes og afledes og sættes derefter atter paa Plads. Spændingen tager af, naar Elektricitetsmængden formindskes.

6. Spændingen er ens overalt paa en Leder. Vises paa sædvanlig Maade.

Efter at disse Grundforsøg for Spænding er gennemgaaet, gaar jeg over til at omtale, at Elektrometret ikke kan bruges til særlig lave eller høje Spændinger; men at man ved Hjælp af det saakaldte Kondensatorapparat kan indrette det til ogsaa at maale lave Spændinger. Her kommer forøvrigt en Vanskelighed, idet Eleverne gennem den foregaaende Undervisning ikke har Forudsætninger til Forstaaelsen af Kondensatoren. Jeg mener derfor, at man maa nøjes med eksperimentelt at godtgøre, at en vis Ladning, der paa et almindeligt Elektrometer giver ringe Udslag, vil give et meget kraftigt Udslag paa et Kondensatorelektrometer. Til Sammenligning af høje Spændinger benyttes Papirryttere, hvert Ben ca. 20 cm og af Silkepapir. Er Benene for korte, gaar Forsøgene ikke godt.

7. Elektrisermaskinens positive Konduktor forbindes med en isoleret Sejlgarnssnor, hvorpaa der hænger Papirryttere. Udslaget er ens omtrent og vokser med Omdrejningshastigheden, altsaa Spændingen vokser med det udførte Arbejde. Afledes den negative Konduktor, vokser Spændingen, fordi Omgivelsernes elektriske Tilstand derved er forandret.

8. Den positive og den negative Konduktor forbindes med en flere Meter lang Sejlgarnssnor, der hviler paa Opstandere med Glasstænger til Fæste for Snoren. Paa Snoren hænger Papirryttere med ligestore Mellemrum. Drejes Maskinen, gør Halvdelen af Rytterne Udslag med positiv Elektricitet med jævnt Spændingsfald, og den anden Halvdel med negativ Elektricitet, hvis numeriske Værdi stiger ind mod den negative Konduktor.

Digitized by Google

Afledes den negative Konduktor, bliver hele Snoren positiv med jævnt Spændingsfald i hele Snorens Længde.

Hermed er de indledende Forsøg gjort til Omtalen af den elektriske Strøm og det galvaniske Element. Spænding samt Spændingsfald langs en Ledning, der forbinder Elementets Poler, maa maales med Elektrometret, forinden man omtaler Voltmetret, og særlig gælder det at godtgøre, at Spændingsfaldet langs en Ledning er ligefrem proportional med de mellemliggende Modstande, kan paavises baade ved Elektrometret og Voltmetret.

9. Forbindes et Elements ene Pol med Elektrometret, fremkommer intet Udslag. Spændingen er derfor enten Nul eller ringe. Kondensatorelektrometret giver Udslag, naar den anden Pol er afledet til Jorden, ellers ikke.

10. Den negative Pol afledes til en Gas- eller Vandledning, og Udslagene noteres for 1 Element, for 2 forbundne i Række o. s. v. (Resultaterne er fremkomne som Resultat af flere paa hinanden følgende Maalinger. — Elementernes el. Kraft var ca. 2,6 Volt, altsaa Dobbeltelementer).

Udslag for	1	Element,	neg.	Pol	afledet	11,5°
—	- 2	—	-	—	—	23°
—	- 3	—	-	—	—	34°.

Afledes Polen ikke, bliver Udslaget mindre og ret uregelmæssigt.

11. 2 à 3 Elementer forbindes i Række, og Polerne forbindes med en Nysølvtraad 0,25 mm af en saadan Længde, at Strømmen er ca. 1 Amp. Den negative Pol afledes til Jorden, og paa Ledningen er afsat Mærker med lige store Mellemrum, hvor Maalingerne foretages. Maalepunkterne *a, b, c* har ligestore Afstande.

	a	*b*	*c*
Udslag	14°	9,5°	5°

Derefter gennemgaas Strømmen og Strømmens Maaling, Definition af Enheden, Maaleinstrumentets Indretning og ligeledes Maaling af Modstande for til Slut at definere en Volt som Spændingsforskellen mellem to Punkter af en Ledning, hvor der gaar en Strøm paa 1 Amp., naar den mellemliggende Modstand er 1 Ohm.

12. Jeg foretager nu en Maaling med Elektrometret og Voltmetret paa samme Ledning og viser, at man med begge Apparater

Digitized by Google

kan godtgøre, ikke alene at der finder et Spændingsfald Sted langs Ledningen, men at Spændingsfaldet er ligefrem proportionalt med de mellemliggende Ledningsstykkers Længder altsaa med Modstandene. Forsøgsanordningen er følgende: I en Nysølvstraad bestemmes Modstanden i Forvejen. Lad denne være 1 Ohm pr. 20,5 cm.

Tre Dobbeltelementer kobles i Række. Strømmen gaar gennem en Nysølvtraad, hvis Længde afpasses saaledes, at Strømmen er

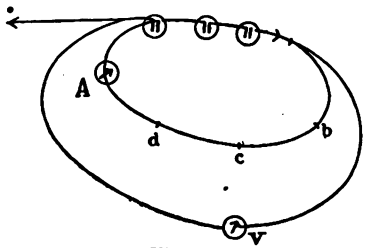


Fig. 2.

1 Amp. Batteriets negative Pol afledes til Jorden. Afstandene $ab = bc = cd = 20{,}5$ cm. Spændingen i Punkterne *a*, *b*, *c* og *d* maales med Elektrometret. Derefter sættes *a* i Forbindelse med Voltmetrets positive Polklemme, og den negative afledes sammen med Batteriets negative Pol; derefter forbindes Polklemmen med *b* o. s. v.

Resultaterne af gentagne Maalinger meddeles her:

	a	*b*	*c*	*d*	Spændingsfald
Udslag paa Elektrometret ..	20^0	15^0	10^0	$5{,}5^0$	5^0
Voltmetrets Udslag i Volt ..	4,3	3,3	2,3	1,3	1

Derefter gennemgaas Loven om Strømforgrening og Voltmetrets Indretning; og der er gennem en Række Forsøg paavist Forbindelse mellem de to Maalesystemer.

Til de omtalte Forsøg maa Elektrometret naturligvis være i god Stand og Forsøgsbetingelserne gode, hvortil hører, at Ebonitdelene ikke udsættes for Sollys, naar Apparaterne ikke bruges, at man holder Ebonitdelene rene ved engang imellem, og helst lige før Brugen, at vadske dem i koldt kogt Vand og tørre med en ren Linnedklud, at lade være Gennemtræk i Lokalet under Forsøget og ikke ved elektriske Udladninger eller paa anden Maade ionisere Luften.

Digitized by Google

Om forutsigelse av regn.*)

Af

V. Bjerknes.

Sommeren 1918 blev et første forsøk gjort i Norge paa veirvarsling i større stil for landbruket. Den almindelige plan for dette arbeide har jeg tidligere hat anledning til at utvikle.**) Hvorvidt forsøket allerede straks førte til resultater av praktisk betydning har jeg ikke materiale til at bedømme. Men det har skaffet os betydningsfulde videnskabelige resultater, som lover godt for fremtiden.

Da forsøket blev sat igang var vi indestængte. Ingen veirtelegrammer kom fra vest, fra De britiske øer, Færøerne og Island. Dermed var en stor del av grundlaget for vort ældre veirvarslings-system faldt bort. Erstatningen søkte vi ved at indrette det nye saa nær som mulig efter teoriens krav, saadan som disse har formet sig for os under et arbeide som jeg i mange aar har ledet med understøttelse av Carnegie-Institutet i Washington. Jeg skal ikke gaa i enkeltheder men kun fremhæve et par hovedpunkter.

For at bedømme hvordan veiret skal b l i imorgen maa jeg vite hvordan det e r idag. Herom gir veirstationerne underretning. Fig. 1 viser et kart over de telegraferende veirstationer i det sydlige Norge fra før i tiden, og et kart over dem som traadte i virksomhet sommeren 1918. Antallet er øket fra 8 til omtrent 90. Dette er ikke det mindste for meget naar det gjælder at skaffe besked om veirets fordeling fra fjord til fjord og fra dal til dal i et land som Norge.

*) Foredrag holdt i Fysisk Forening d. 26. Maj 1919.

**) Veirvarsling, foredrag ved Geofysikermøtet i Gøteborg 1918. (Naturen 1919, s. 3, flg.).

Digitized by Google

Det er i virkeligheten kun en svak tilnærmelse til teoriens strenge krav, som uttalt i matematisk form gaar ut paa at avstanden mellem stationerne skal være differentialer. Men det har sine grænser hvor langt man kan gaa, særskilt med at belaste telegrafvæsenet med veirmeldinger.

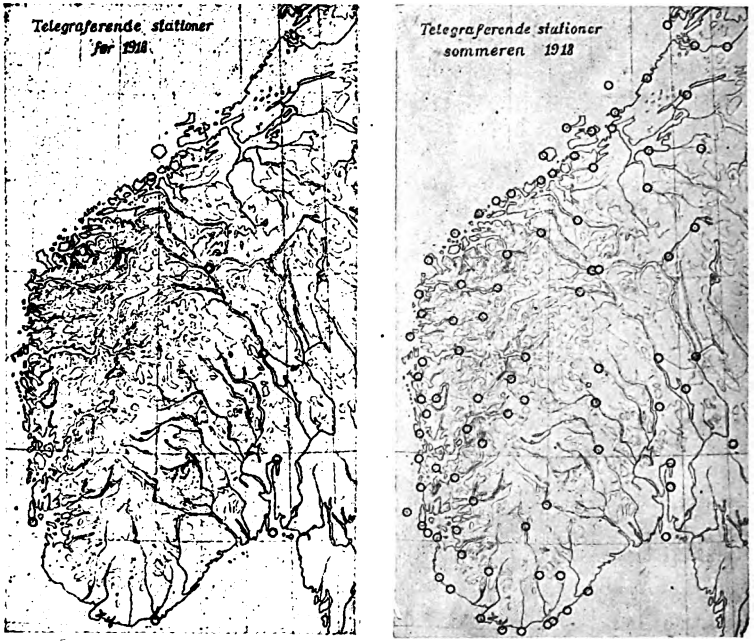


Fig. 1. Telegraferende veirstationer.

Kjender man efter dette tilstrækkelig nøie hvordan veiret er idag, saa er det i princip meget enkelt at bestemme hvordan det skal bli imorgen. Veiret forandrer sig fordi luftmasserne bevæger sig og forandrer tilstand. Alt er gjort hvis vi kan bestemme hver enkelt luftmasses sted og den tilstand i hvilken den ankommer til dette. Ideelt seet skulde denne opgave kunne løses matematisk ved hjælp av mekanikens og termodynamikens ligninger. I praksis er dette endnu ikke gjennemførlig. Men likefuldt bør man gaa frem saa nær som mulig efter mønster av det matematiske problem. Arbeidet bør lægges saadan an at man kvalitativt om ikke kvantitativt

Digitized by Google

kan trække størst mulig nytte av den viden som er nedlagt i mekanikens og termodynamikens ligninger.

Ser man problemet saaledes matematisk, saa er at merke at luftmasserne forandrer sted og tilstand under samspil av samtlige meteorologiske elementer. Man kan ikke paa forhaand stille noget av disse i bakgrunden uten at risikere at problemet blir ubestemt. Hittil har meteorologerne nøiet sig med at ta to elementer fuldt ut i betragtning, tryk og temperatur. For disse utarbeides fuldstændige synoptiske karter, mens observationerne av de andre elementer, — vind, fugtighet, skydække, regn — indføres paa karterne i ubearbeidet form som raamaterial. I motsætning hertil maa vi stille som principielt krav at man gir kontinuerlig synoptisk fremstilling av samtlige elementer. Og skal man fremhæve noget enkelt element som ikke maa forsømmes, selv under det mest presserende ekspresarbeide, saa er det v i n d e n. Ti det er bevægelserne som gir nøkkelen til forstaaelse av tilstandsforandringer.

Saa langt den knappe tid og den snaut tilmaalte arbeidshjælp tillot blev dette program gjennemført.

Arbeidet blev utført av mine to forhenværende assistenter, J. B j e r k n e s og H. S o l b e r g, som gjennem flere aars arbeide var helt fortrolige med alle metoder. Den første utførte veirvarslingsarbeidet for det vestlandske, den sidste for det østlandske Norge.

Allerede under varslingsarbeidet begyndte man at skimte vigtige nye resultater. Sporene er i vinterens løp blit forfulgt videre. Yderligere observationer har efterhaanden kunnet samles fra vore nabolande og tildels ogsaa fra de tidligere krigførende lande, og paa de fuldstændige observationer er de antydede metoder blit bragt fuldstændigere i anvendelse. De resultater som jeg nu efter dette kan fremlægge er helt og holdent de to nævnte unge meteorologers verk.

Opmerksomheten har først og fremst været rettet mot betingelserne for at regn skal komme. Videnskapen vet fra gammel tid at regn kun dannes i luft som stiger til veirs. Luften avkjøles omtrent e n grad for hver hundrede meter den stiger op. Derfor kan den i længden ikke fastholde sin fugtighet. Vandet utskilles som skyer som efterhaanden blir tykkere og avgir regn. Til gjengjæld vil luft som stiger ned gi klart veir.

Digitized by Google

Særskilt tydelig ser man denne sammenhæng naar den fugtige vestenvind staar ind mot vor vestkyst. I fig. 2 viser strømlinjerne hvordan vinden den 6te september kl. 8 morgen stod ind mot kysten og bugtet sig frem gjennem fjorde og daler, overveiende fra vest mot øst. Samtidig ligger en bred regnstripe langs hele vestkysten. Det

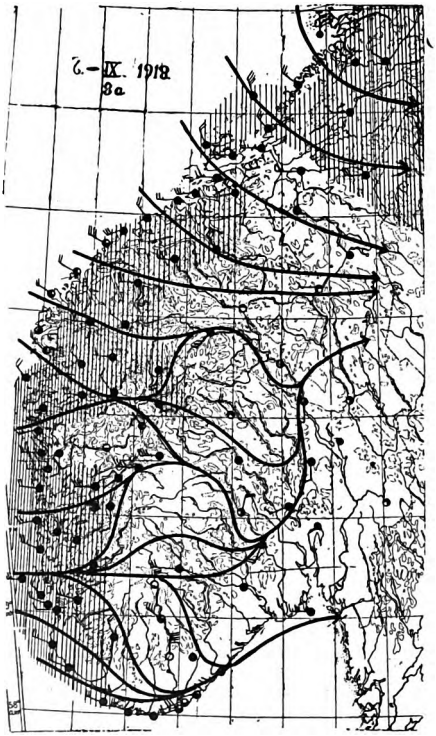


Fig. 2. Regn ved paalandsvind.

skyer op i den indstrømmende luft ytterst i skjærgaarden, skyerne blir tykkere eftersom de driver mot fjeldene, for saa atter at bli tyndere og fuldstændig opløse sig ved vandskillet eller litt over dette. De ytterste øer som Utsire, eller Halten utenfor Trondhjem, kan til sine tider ligge i solskin mens regnet staar under land. Paa grund av kystens forrevne karakter opdeles regnet mange steds i byger. Længer inde falder det mest som jevnt silregn, sandsynligvis fordi dale og sænkninger ligger fyldt av tørrere luft, der danner en jevn

Digitized by Google

bakke som vestenvinden strømmer op over (Fig. 3). Hvor man ikke har dette tørre luftlag ligger skyerne helt ind paa fjeldene.

Men foruten saadanne stillestaaende regnbelter møter vi andre som er paa vandring. Fig. 4 viser et saadant i to stilllinger. Den 10de september kl. 2 em. dækker det Syd-Sverige, Skagerak og Sørlandet, kl. 8 samme aften gaar det tvers over Mellem-Sverige og det sydlige Norge. I den nye stilling er det delvis revet istykker av den norske fjeldryg. Man ser ogsaa at mindre skurer gaar foran og følger efter. Men dette er ikke overraskende naar man betænker hvor sterk indflydelse terrænget har paa regndannelsen. Og disse uregelmæssigheter kan ikke skjule regnveirets karakter av et baand, som strækker

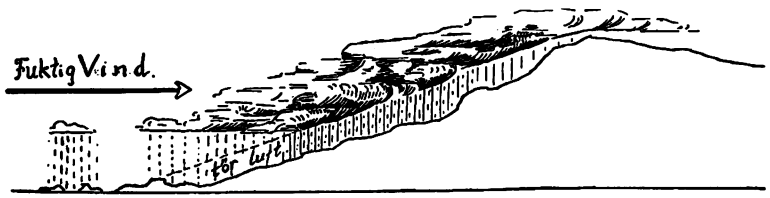


Fig. 3. Regn ved paalandsvind. Vertikalsnit.

sig fra Østersjøen til Nordsjøen og feier nordover den skandinaviske halvø med en fart av omtrent 50 km. i timen, d. v. s. med omtrent norsk jernbanefart. Strømlinjerne viser hvorledes samtidig vinden har været fordelt. I regnbeltet og foran det blæser vinden i stripens retning, men bakfra næsten ret ind mot den. Samtidig viser termometret flere grader lavere i og foran stripen end bak den. En kold luftstrøm ligger altsaa tvers for kursen av en varm. Den varme, som er lettere, maa da styre op over den kolde og slippe sit regn. Dette falder til jorden tvers igjennem den kolde luft. Forholdet er i hovedsak det samme som naar vestenvinden staar ind mot den norske fjeldryg. (Fig. 5). Men den bakke som dannes av den kolde luftstrøm har ikke samme motstandskraft som de norske fjeld. Den gir efter for trykket av den varme vind: man faar en vandrende regnstripe.

At denne forklaring av regndannelsen er rigtig, kan prøves paa forskjellige maater. Først kan teorien tages til hjælp. Den tillater os at beregne skraaningen av den bakke som den varme luft strømmer op

Digitized by Google

over. Man kommer til en stigning av mindst én paa hundrede og høist én paa femti naar temperaturspranget og vindspranget har saadanne værdier som paa kartet. Den varme luft strømmer altsaa op ad en

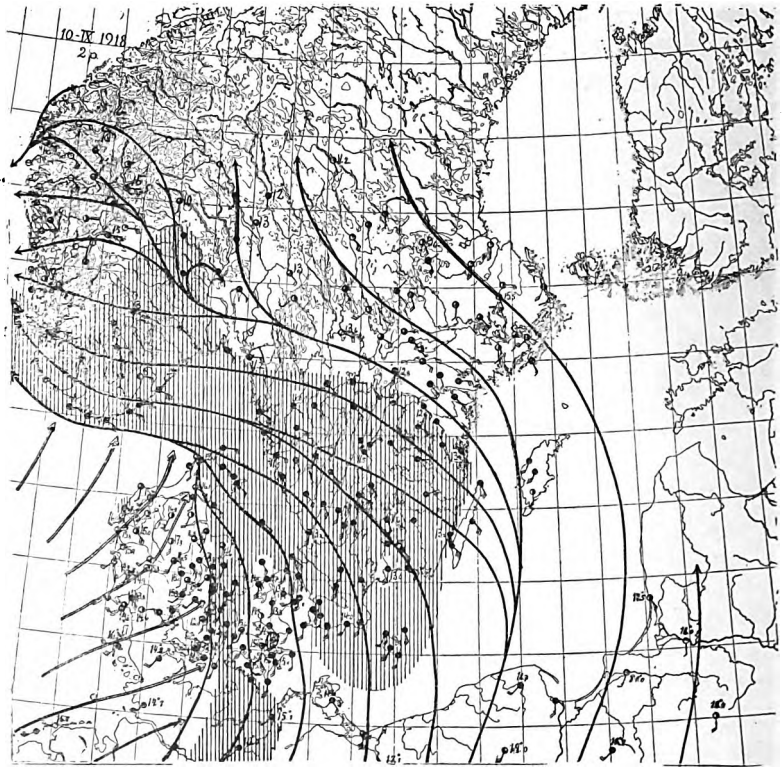


Fig. 4 a. Vandrende regnstripe, bred type.

meget flat bakke med omtrent sedvanlig jernbanestigning. Da regn kan falde fra skyer indtil 3000 meters høide, stemmer dette fuldstændig med at regnet naar 2 til 300 km. foran den linje hvor den varme luftstrøm begynder opstigningen. Endnu høiere op, hvor den varme luft har git fra sig sit regn, dannes kun lettere skyer. De høieste, fjærskyerne, som ligger i 8 til 10 000 meters høide, bør da vise sig omkring 500 km. foran regnbeltet. Alt dette viser sig at stemme: grænseflaten mellem de to luftstrømmer sees nedenfra som den jevne

Digitized by Google

flate av et sammenhængende, vandrende skydække. Først sees de høieste letle fjærskyer, saa gaar disse over til et jevnt slør, som blir stadig tættere og sænker sig lavere, helt til man faar de lave tunge regnskyer

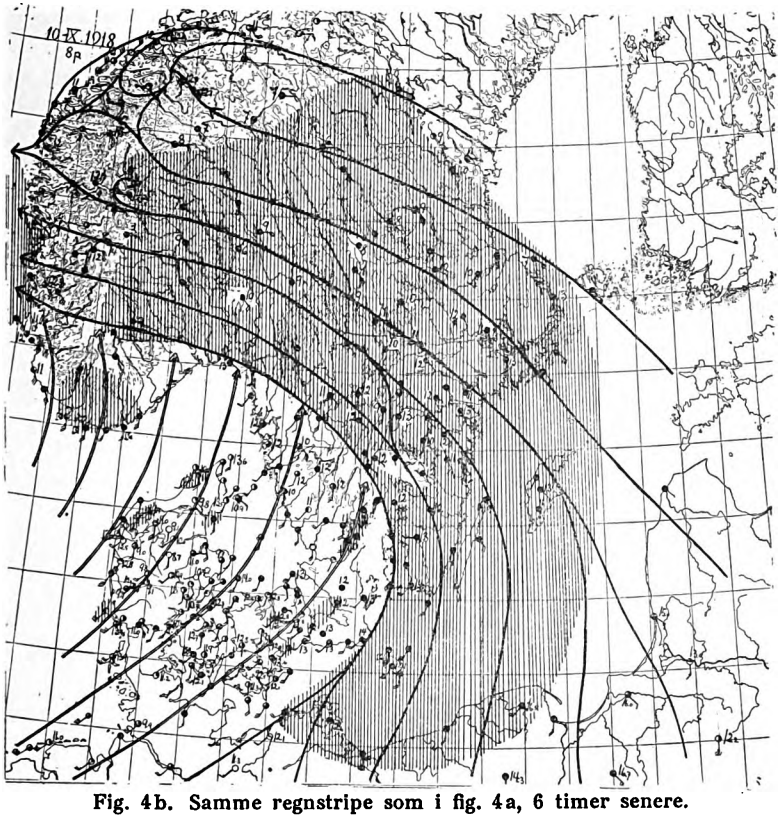


Fig. 4b. Samme regnstripe som i fig. 4a, 6 timer senere.

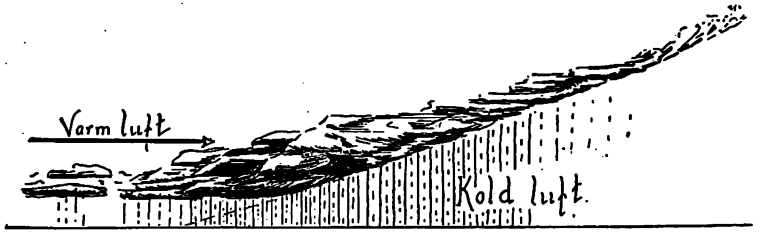


Fig. 5. Vandrende regnstripe, bred type. Vertikalsnit.

Digitized by Google

i regnstripen selv. Regnet fra dette vandrende skydække begynder sagte med enkelte draaper og tiltar i løpet av nogen timer til tæt silregn, som atter kan vare fra nogle timer til en halv eller hel dag. Saa pleier det temmelig pludselig at holde op, samtidig med at vinden snur sig og temperaturen stiger. Efter opklaringen følger gjerne

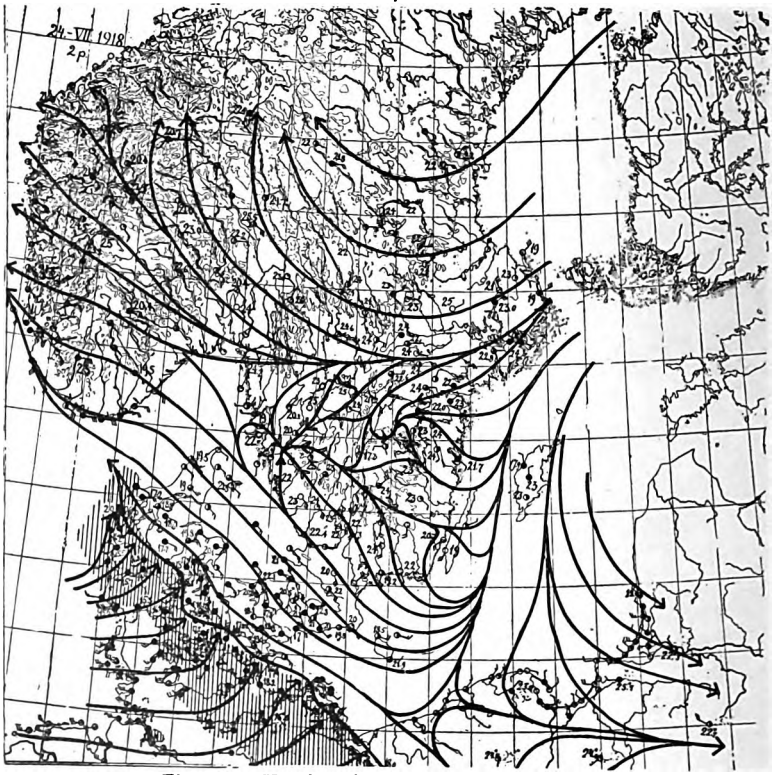


Fig. 6 a. Vandrende regnstripe, smal type.

enkelte byger som man ser det paa kartet. Paa Vestlandet er disse gjerne baade heftige og vedholdende for saa vidt den vind som bringer opklaringen staar mot land.

Saadanne vandrende regnstriper kan i tider med urolig veir ofte komme slag i slag. Men de har ikke alle samme karakter, det viser sig snart at der er to sorter av dem. Kartet fig. 6 viser et eksempel

Digitized by Google

paa den anden type: den er meget smalere end den forrige, neppe nogensteds mer end 100 km. bred. Forøvrig feier den hen over Den skandinaviske halvø paa ganske lignende maate, og med lignende fart. Vindfordelingen synes ogsaa at være den samme som i forrige tilfælde: en vind løper langs stripens retning og en næsten lodret ind mot den.

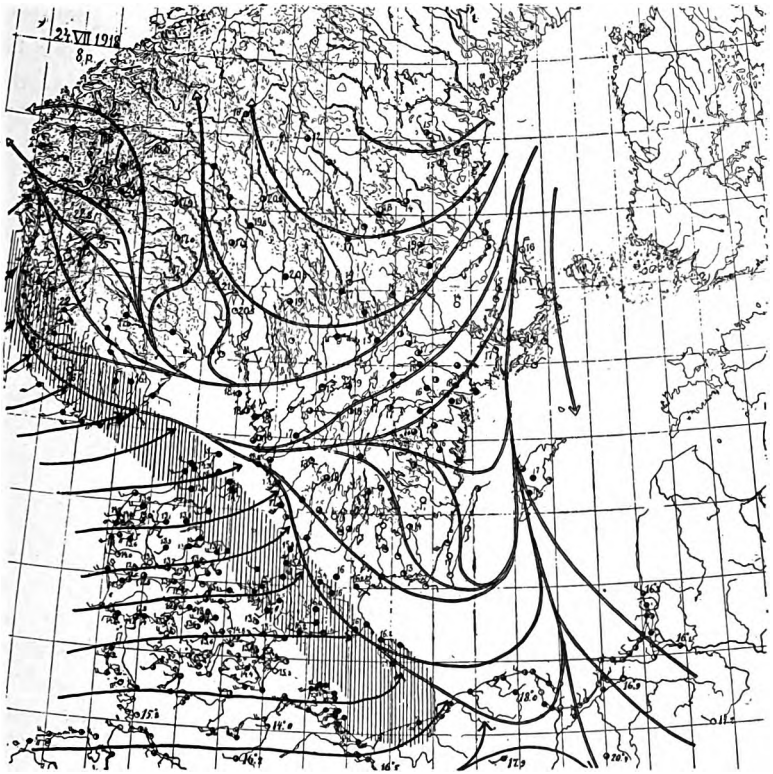


Fig. 6 b. Samme regnstripe som fig. 6 a, 6 timer senere.

Men der er den eiendommelige forskjel at grænselinjen mellem de to strømmer nu ligger i stripens forreste kant, ikke i den bakerste. Og samtidig ser man at temperaturen er høi foran stripen, derimot lav i og bak stripen. Altsaa: før hadde vi en kold luftstrøm som laa tvers for kursen av en varm. Nu har vi en varm luftstrøm som ligger tvers for kursen av en kold. Resultatet er at den tunge kolde luft baner sig vei ved at flyte indunder den varme. Følgen er at den varme løftes

Digitized by Google

op og tvinges til at avgi sit regn. Det er ikke længer vinden som blæser mot en fjeldryg, det er fjeldryggen som bevæger sig mot vinden. (Fig. 7). Den kommer veltende med voldsomhet, regnet begynder med en gang med fuld styrke, ofte som tordenbyger med heftige vindkast, først varme saa kolde. Men efter en eller flere forholdsvis kraftige byger faar man klart kjølig veir. Paa Vestlandet vedblir det gjerne med byger avbrudt ved solgløt for saa vidt vinden staar mot land.

Regnstriper som disse feiet sidste sommer i store mængder hen over vort land. Snart kom en av den brede sort, snart en av den smale. De fulgte hinanden paa saadan maate at man maatte slutte sig til en bestemt sammenhæng mellem dem. Og enkelte ganger indtraadte det heldige tilfælde at sammenhængen viste sig klart indenfor omraadet av vore karter.



Fig. 7. Vandrende Regnstripe, smal type. Vertikalsnit.

Den 30te september hadde vi et av disse heldige tilfælder. Fig. 8 a viser en regnstripe av den brede type, som kl. 2 strækker sig over Danmark, Sydsverige og Østersjøen. Fig .8 b viser den samme regnstripe seks timer senere: den har flyttet sig mot nordost op over Sverige og trukket efter sig en stripe av den smale type, som fra Danmark gaar ret sydover ned gjennem Tyskland. De to regnstriper danner et eneste sammenhængende regnbaand, som gjør en knæk der, hvor den brede stripe gaar over i den smale. Omkring knækken svinger vinden, og barometret viser her lavt: det er den forbindelse av svingende luftbevægelse, lavt barometertryk og regn, som kjendetegner det man fra gammel tid kalder et h v i r v e l c e n t r u m eller en c y k l o n. Vort regnbaand er altsaa det regnomraade som tilhører cyklonen.

Fra gammel tid vet vi at vi faar vore store regnveir med saadanne vandrende cykloner. Men det billede som de gamle, tynde observationsnet skaffet os av cyklonernes bygning var meget overfladisk: Man tænkte sig dem som mere eller mindre regelmæssige hvirvler med et centralt regnomraade. Vi ser at denne beskrivelse kun svarer daarlig til kartet i fig. 8 b.

Digitized by Google

Et gjennemsnitsbillede av cyklonerne saadan som vi maa tegne det efter den sidste sommers erfaringer, i aller enkleste form og med uteladelse av selv meget interessante detaljer, er vist i fig. 9 a.*) Fra syd stikker en varm lufttunge op, som ender med en spids ved cyklon-centret. Langs den nordlige rand av denne varme lufttunge har vi det brede regnbaand, langs den vestlige rand det smale. Det brede baand danner sig hvor søndenvinden strømmer op over den kolde luft. Denne haardt pressede kolde luft rømmer saa paa sin side vestover, og gjør en krap sving mot syd rundt spidsen av den varme lufttunge. Derpaa flyter den fra vest indunder den varme luft, som derved tvinges østover. Herav følger cyklonens vandring mot øst. Selve centret flytter sig langs den sydlige rand av det brede regnbaand, altsaa langs den linje hvor den varme søndenvind møter den kolde østenvind. Denne linje viser altsaa paa forhaand, hvilken vei cyklonen vil følge. Vi kalder den derfor syklonens s t y r e l i n j e. Forreste rand paa den smale regnstripe, hvor kold vestenvind trænger sig ind under den varme søndenvind, kalder vi cyklonens b y g e l i n j e. Vinklen mellem styre- og bygelinje synes at staa i sammenhæng med cyklonens fart. Vinklen er gjerne stor og kan nærme sig 180° ved cykloner som bevæger sig hurtig. Fig. 8 er et eksempel paa en saadan hurtigløper. Derimod gaar de som oftest langsommere naar vinklen er ret, som i fig. 9 eller endnu mindre. Disse regler, som tillater os tilnærmet at bestemme kurs og fart av en cyklon, er naturligvis av den aller største viglighet for veirvarslingen.

Mange er de teorier, som i tidernes løp har været fremsat for at forklare cyklonernes bygning. Og merkelig nok fører disse nye resultater tilbake til forestillinger saa gamle, som dem D o v e fremsatte omkring midten av det forrige aarhundrede. Som aarsak til alle større veiromslag paa vore bredder tænkte han sig den vekslende lykke i kampen mellem en varm luftstrøm fra Ækvator og en kold fra Polen. Og hvirvelcentret er, som vi ser, netop midtpunktet for, hvad man kan fristes til at kalde en saadan kamp. Den kolde luft søker sydover og den varme nordover, for at utjevne temperaturforskjellen mellem den kolde og den varme zone. Under kampen har den varme luft overtaket paa hvirvlens forside: her trænger den frem,

*) J. Bjerknes: On the structure of moving Cyklones. Geofysiske Publikationer No. 2. Kristiania 1919.

Digitized by Google

flyter ovenpaa den kolde og nærmer sig sit maal, Polen, som en strøm i høiden. Til gjengjæld svinger den kolde luft over paa cyklonens bakside, vender her sydover og falder den varme luft i flanken med det resultat, at denne maa forlægge sin fremmarsch mot Polen stadig længere østover.

Denne opfatning av cyklonerne, ikke som hvirvel i en ensartet

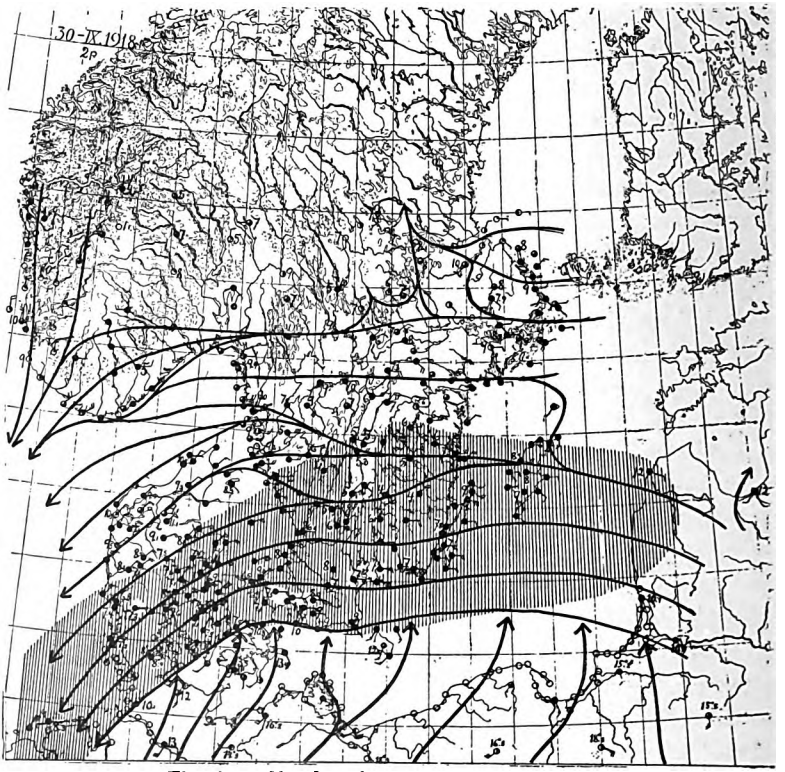


Fig. 8 a. Vandrende regnstripe, bred type.

luftmasse, men som det man billedlig kan kalde en kraftprøve mellem to luftstrømmer, har i den senere tid været fremholdt fra teoretisk side av østerrikeren Margules*) og paa empirisk grundlag av Sir Napier Shaw,**) uten at dog deres synspunkter hittil har vundet

*) Margules: Energie der Stürme. Jahrbuch der K. K. Zentr.-anst. für Meteorologie 1907. Anhang.

**) N. W. Shaw: Forecasting Weather. London 1911.

Digitized by Google

terræng og utøvet nogen større indflydelse paa meteorologiens utvikling.

Det har sin interesse tilsiut at se paa dimensionerne av en saadan kamp. Cyklonen den 30te september var en høstcyklon av sedvanlig styrke. Den gik omtrent med jernbanefart. Dens regnbaand har strakt sig fra Finland over Østersjøen, Syd-Sverige og Danmark, og derfra

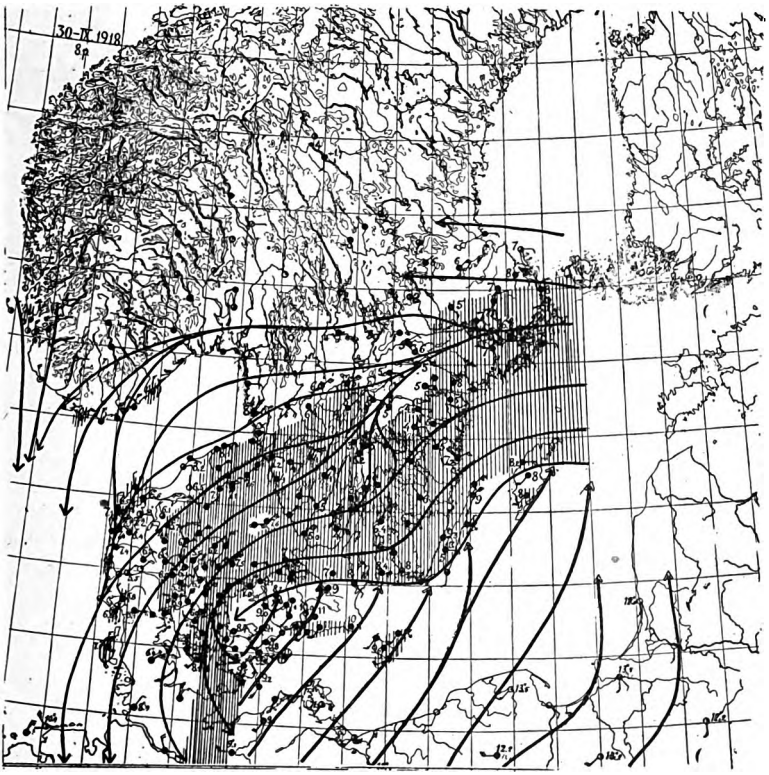


Fig. 8 b. Samme brede regnstripe som i fig. 8 a, 6 timer senere, med tilhørende smal regnstripe.

ret ned gjennem Tyskland, antagelig helt til Alperne. Det gir en kampfront av 2000 km. længde, og selve regnbaandets flateindhold er næsten saa stort som Norges. Hvor dette regnbaand har draget frem, har det i gjennemsnit efterlatt 10 mm. regn. For at fylde dette maal er der blit utøst omtrent 100 000 tons vand i sekundet. Sætter vi, at dette regn er faldt gjennemsnitlig fra 1000 m. høide, saa vil

Digitized by Google

det si, at cyklonens regnbaand danner en vandrende fos paa noget saadant som en milliard hestekræfter, d. v. s. det femtidobbelte av hele Norges vandkraft.

Et naturfænomen av saadan vælde kan ikke dra forbi, uten at det merkes i stor utstrækning, selv langt utenfor selve regnomraadet. Befinder vi os nordenfor cyklonbanen saa har vi gjennemgaaende tør og kold østlig vind. Men nogen tusen meter over vore hoder nærmer sig den brede fordypning, som den varme luftstrøm danner i den kolde, mens den flyter mot nord. Grænsen mellem de to luftstrømmer vises først ved lette fjærskyer, som saa efterhaanden gaar over til et sammenhængende slør. I dette ser man ofte ring om sol eller maane, det er gamle velkjendte tegn paa, at uveir er i nærheten. Drar cyklonen forbi langt i syd, saa vil atter opklaring følge, uten at der kommer nogen større veirforandring. Ligger dens bane nærmere (se fig. 9 b), saa blir sløret stadig tættere og gaar over til lagskyer, efterhvert som det dypeste punkt av den varme luftstrøm nærmer sig. Det begynder saa at falde enkelte regndraaper, og saa sammenhængende regn, som efterhvert blir tættere og derefter atter letner, for at efterfølges av en jevn opklaring, mens samtidig vinden gaar mere over paa nord.

Befinder vi os syd for centret (se fig. 9 c), saa forandrer himlen utseende fra først av paa samme maate. Man ser fjærskyer, slørskyer, lagskyer, regnskyer og saa følger nogen timers indtil en dags jevnt regn. Saa dreier vinden fra SE mot S eller SW, temperaturen stiger, ofte adskillige grader, det jevne regn hører op for at følges av opklaring, som dog kan avbrytes av byger, især paa Vestlandet naar vinden staar mot land. Men saa, efter forholdsvis godveir fra nogen timer op til en eller et par dager, følger et pludselig veiromslag. Der kommer heftige byger, ofte med torden og altid med et mer eller mindre paafaldende temperaturfald. Derefter følger den endelige opklaring, hvis det da ikke, som i det vestlandske Norge, fortsætter med byger saa længe vinden endnu er paa vest.

Ikke mindst har dette nøiere kjendskap til cyklonerne interesse derved, at det gir os forstaaelse av, hvordan fiskere, sjømænd og fjeldfolk bedømmer det kommende veir efter himmelens utseende, og det bør være forbi med den tid, da meteorologerne utarbeider sine forutsigelser som rent kontorarbeide, i et værelse, hvor man kun kan se en liten stripe himmel.

Digitized by Google

Men om himmelens utseende gir en god støtte, saa vil hovedsaken dog bli veirtelegrammerne, især fra landene i vest. Forhaabentlig vil vi til sommeren kunne tegne regnbaandene et helt døgn eller mere,

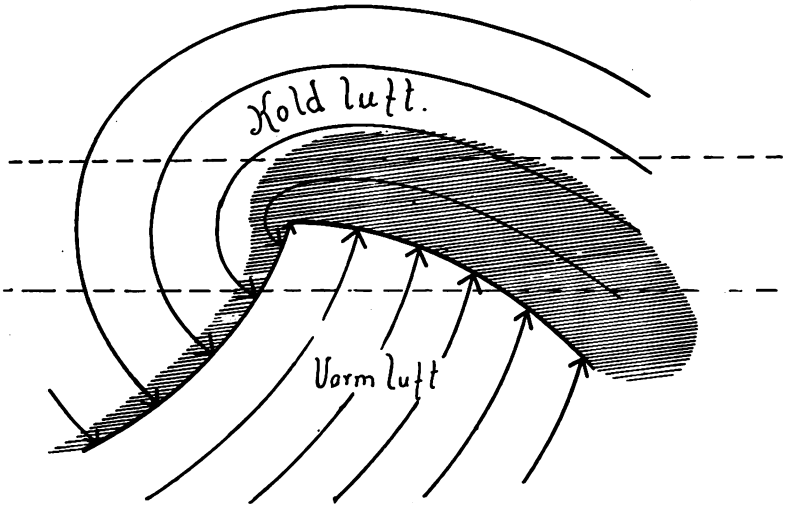


Fig. 9 a. Luftbevægelse og regn i en cyklon. Horizontalprojektion.

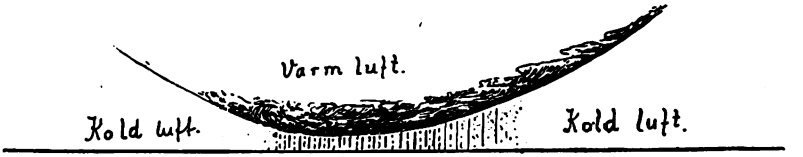


Fig. 9 b. Vertikalsnit nord for cykloncentret (langs den øverste av de strekede linjer i fig. 9 a).

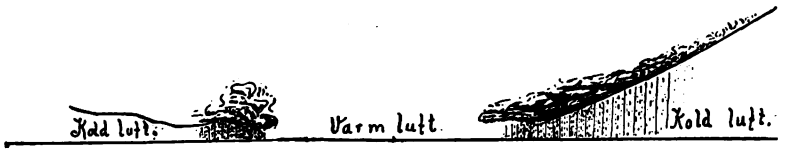


Fig. 9 c. Vertikalsnit syd for cykloncentret (langs den nederste av de strekede linjer i fig. 9 a).

førend de naar vore kyster. Dette vil gi grundlaget for en sikrere forutsigelse av de store regnveir. Men man maa ikke tro, at dermed alle vanskeligheter er overvundet. Det er ikke let at avgjøre, om en cyklon, som ligger i England, ogsaa er sterk nok til at tvinge sine

Digitized by Google

regnbaand frem over en hindring som den norske fjeldryg. Her staar meteorologerne overfor avgjørelser, som er like vanskelige som de er ansvarsfulde. Her kræves fortsat erfaring, førend man kan naa fuld sikkerhet.

Og dog vilde meteorologernes arbeide være let, om der ikke forekom andet regn end det vi hittil har betragtet: det stillestaaende, som skyldes vind mot bakke, og det vandrende, som følger cyklonerne. Men vi har ogsaa regn av langt lunefuldere karakter. Alle kjender de sommerdager, som oprinder straalende klare, hvor bønderne kaster ut sine saater med godt haap. Men saa ut paa formiddagen begynder det at skye op. Der danner sig haugskyer over fjeldene og ved middag eller ut paa eftermiddagen kommer pludselig en skur, inden man rækker at faa høiet kjørt ind eller raket sammen i saater. Om aftenen klarner det op igjen, men til ingen nytte, det fortsætter dag efter dag paa samme maate.

Ogsaa disse byger skyldes luft som stiger tilveirs, derom er man ikke i tvil. Hvor solen opvarmer en fjeldskraaning kan man mange ganger se luften sitrende stige op. Den varme luft følger fjeldsiden til toppen eller kammen og maa saa fortsætte frit opover. Dette gir en svak vind opad bakke, fra dal mot fjeld, fra sjø mot land. Det er den kjendte godveirsvind, solgangsvinden. Den stilner om aftenen, naar opvarmningen ophører, eller vender sig til en svak vind av motsat retning. Da avkjøles luften hurtigere i de større høider, kold og tung luft synker tilbake igjen fra fjeld til dal, fra land til sjø.

Under disse godveirssituationer, med solvarme dager og klare kjølige nætter, er det at eftermiddagsbygerne danner sig. Dette er i og for sig forstaaelig. Men det overraskende er, at paa én solskinsdag dannes ingen skyer eller kun lette uskyldige sommerskyer. Paa en anden derimot, som oprinder like blank, faar man de kraftigste tordenveir. Her er en gaate, som maa opklares, hvis det skal lykkes at varsle for disse byger.

En nærliggende tanke er, at luftens temperatur paa bygedagene kanske avtar meget raskt mot høiden. Tilstanden kan da være meget nær instabil, saa at selv en liten opvarmning nede ved jorden vil frembringe sterk opadstigende luftstrøm eller endog fuldstændig omveltning. Paa de sikre godveirsdager skulde temperaturen derimot avta langsomt med høiden og følgelig tilstanden være stabil, saa at op-

Digitized by Google

varmningen av de nederste lag ved solstraalingen kun skulde ha liten virkning til at frembringe opadstigende luftstrøm. Ledet av den tanke hadde vi ogsaa planlagt maalinger av temperaturens avtagen med høiden. Gjennemførelsen av denne plan kom dog til at strande paa praktiske vanskeligheter. Vi maatte undvære disse observationer, og



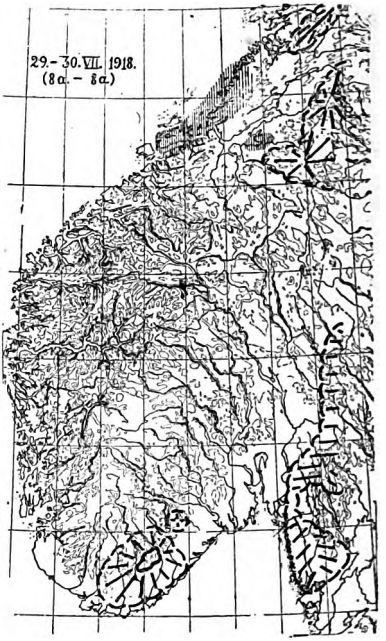
Fig. 10. Første bygedag. Luftbevægelse kl. 8 morgen.

fik kun anledning til at studere bygedannelsen paa vore karter. Vi skal se, hvordan en saadan række av bygedager tar sig ut.

Fig. 10 viser vinden kl. 8 morgen den 29de juli. En cyklon var netop dradd bort og hadde efterlatt svak nordenvind med overveiende klart veir over den største del av landet. Eftersom solen steg, satte dalvinden op mot fjeldene og suget vinden fra sjøen efter sig. Sammen med nordenvinden gav dette ved middagstid den vindfordeling, som er vist paa første kart fig. 11.

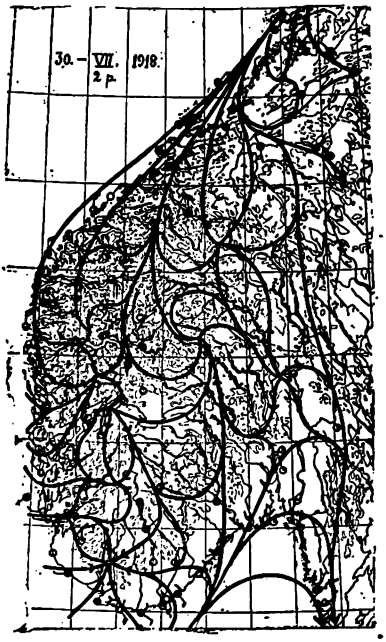
Digitized by Google





a. Luftbevægelse kl. 2 e. m. b. Tilsvarende regnomraader.

Fig. 11. Første bygedag.





a. Luftbevægelse kl. 2 e. m. b. Tilsvarende regnomraader.

Fig. 12. Anden bygedag.

Digitized by Google

Paa Sørlandet, hvor sjøvinden strømmer sammen fra tre kanter, vest, syd og øst, har den magtet at stanse nordenvinden, og der har dannet sig et sammenstrømningspunkt paa aasene mellem Topdal og Evje i Sætersdalen. Over disse aaser skyer det op, og allerede inden middag hadde tordenbyger hjemsøkt omraadet indenfor den indre ring paa det andet kart fig. 11. Bygerne fortsætter om eftermiddagen ut i alle retninger, som strekene viser, og naar frem til den ytre strekede linje inden det klarner til natten.

Næste morgen oprinder atter blank. Men efter nattens hvile sætter atter solgangsvinden ind, fra sjø mot land, fra dal mot fjeld (fig. 12). Paany strømmer luften sammen mot Evje. Men det er ikke længer det eneste sammenstrømningspunkt. Paa Storstensheia mellem Sætersdalen og Ryfylke har man et nyt centrum. En hel sammenstrømningslinje fører over Gausta, Blefjeld og Hallingskarvet op til Filefjeld. Et meget kraftig sammenstrømningspunkt har dannet sig paa Dovre, mindre centrer finder man paa Voss og paa Skarfjeld nord for Sognefjorden.

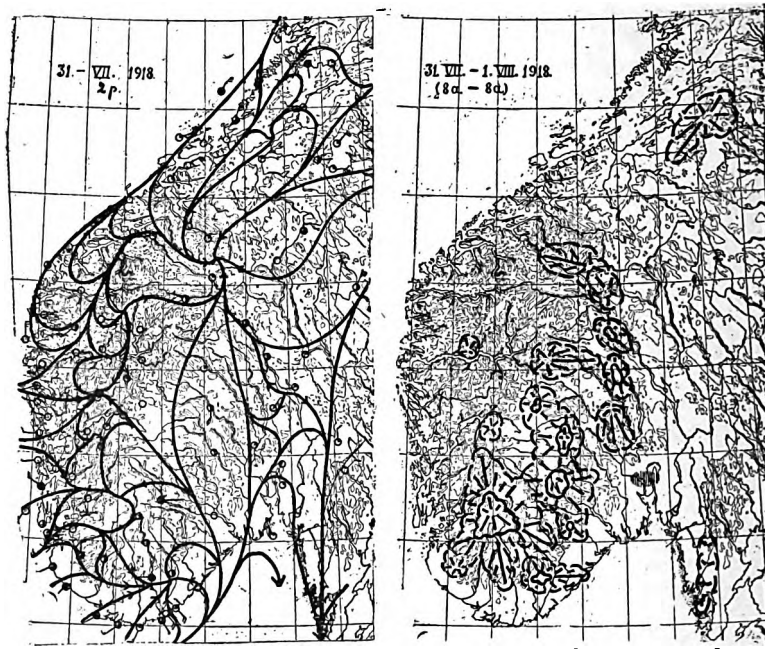
Men virkningen er meget forskjellig paa de forskjellige steder. Fra Evje gaar der atter byger, og likedan fra de nye centrer paa Gausta, Blefjeld, Hallingskarvet og Filefjeld. Men Skarfjeld og Voss er virkningsløse, og selv en saa kraftig sammenstrømning som den paa Dovre bringer kun lette skydannelser, men intet regn.

Om natten stilner atter vinden eller gaar over i den motsatte, og det klarner over hele landet. Men paa den tredje dag gjentar sig det samme spil. (Fig. 13). Inden middag er alle sammenstrømningspunkter fra gaarsdagen dukket op igjen, og nye kommet til. En sammenstrømningslinje har dannet sig over Norefjeld, Synsfjeld i Torpen og Rondene optil det gamle centrum paa Dovre. Langs denne linje faar vi bygecentrer, nu ogsaa paa selve Dovre. Likedan begynder det at gaa byger fra det gamle centrum paa Skarfjeld, mens paa Voss endnu ingen virkning spores.

Den fjerde dag gaar det endelig løs ogsaa paa Voss: der gaar byger fra mindst tre centrer. Et nyt centrum dukker op i Nordmarken ved Kristiania. Forøvrig gaar de distrikter, som ligger under de forskjellige centrer, mer og mer over i hinanden. (Fig. 14).

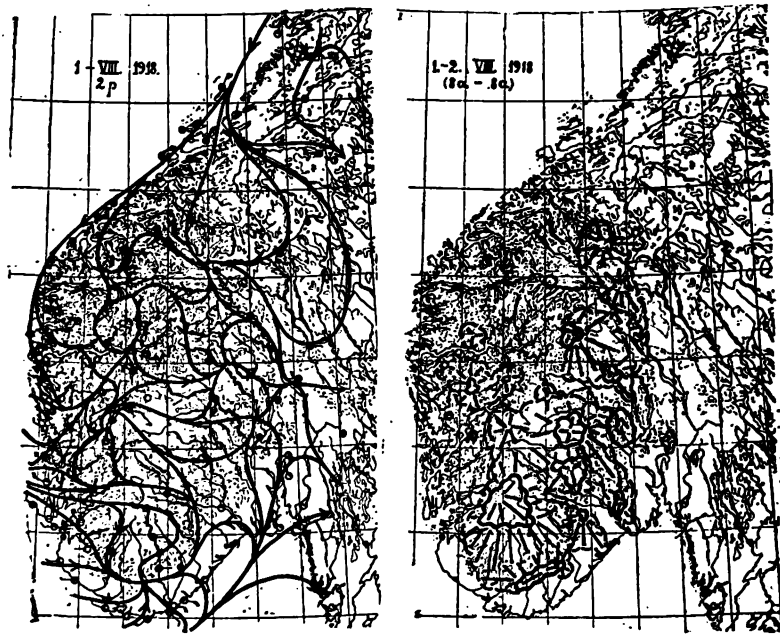
Den femte dag fortsætter utviklingen i samme retning. Man ser et antal nye aktionscentrer og fortsat sammenvoksning av omraaderne for de gamle. (Fig. 15).

Digitized by Google



a. Luftbevægelse kl. 2 e. m. b. Tilsvarende regnområder.

Fig. 13. Tredje bygedag.



a. Luftbevægelse kl. 2 e. m. b. Tilsvarende regnområder.

Fig. 14. Fjerde bygedag.

Digitized by Google

Men nu trær ogsaa bestemte omraader frem, som aabenbart vanskelig naaes av byger. Det er først og fremst fjeld som ikke lar sig opvarme, saadanne som Jostedalsbræen og Folgefonden. Den som har vandret over en bræ i solskin og har set luften sitrende flyte ikke opover, men n e d o v e r skraaningen, vil forstaa grunden: Over bræerne faar man kold nedstigende luft, som bringer klar himmel og holder bygerne borte. Paa alle karter vil man ogsaa finde et tydelig utstrømningspunkt over Jostedalsbræen.

Lignende virkning som bræerne har de store sjøer: Over Mjøsens kolde flate danner der sig nedadstigende luftstrøm, som beskytter Hedemarken mot byger. Lignende virkning har ogsaa de mindre sjøer paa Østlandet og de store fjorder paa Vestlandet.

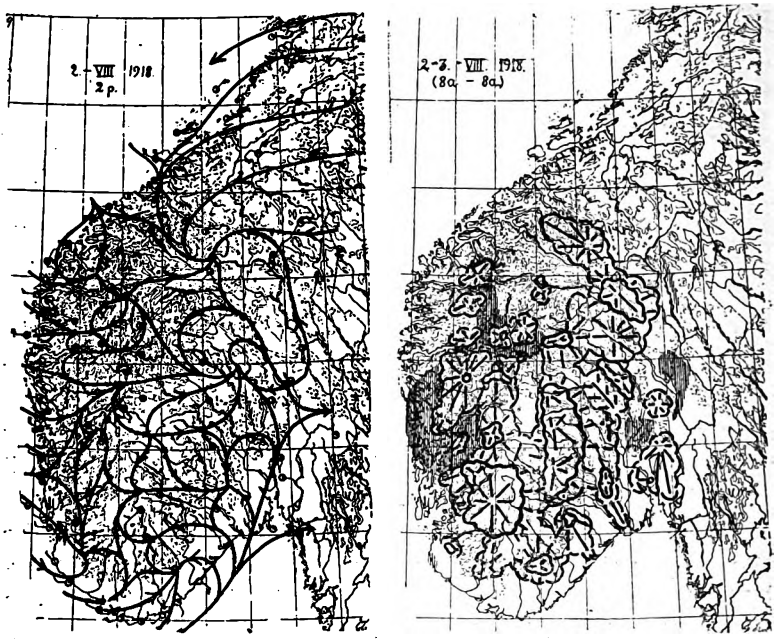
Men om natten vender forholdet sig om. Da klarner det op over bygecentrerne. Her avkjøles luften sterkt og synker ned, mens den til gjengjæld stiger op over de sænkninger, hvor der ikke er faldt regn om dagen. Disse strøk faar stille regn om natten. Disse omraader for natlig regn er skraferet paa kartet fig. 15 b: det er fremfor alt forskjellige vestlandske fjorder samt de lykkelige jordbrukerstrøk som Jæderen, Ringerike og Mjøsbygderne.

Den sjette dag har aktionscentret paa Dovre utviklet sig kraftig. (Fig. 16). Det suger luft til sig fra alle sider. Overalt maa denne luft strømme op ad bakke og følgen er sammenhængende regn hele dagen. Et nyt aktionscentrum har utviklet sig i Sverige, mellem Trysil og Dalelven, og sender byger ind over Trysil og Øvre Østerdalen.

Imidlertid ser man at der nu i syd forberedes en ny vending i veiret: en tør østenvind feier bygerne bort. Den danner utkanten av en cyklon som nu behersker veiret idet den drar forbi.

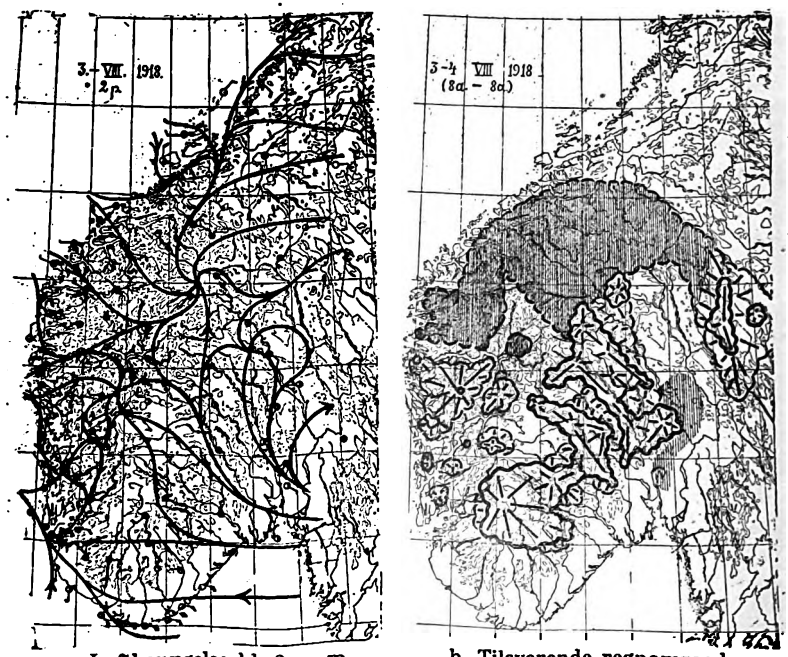
Undersøker vi de enkelte karter nærmere, saa viser det sig, at den forklaring som vi hadde tænkt os paa forhaand, nemlig at luften skulde være mindre stabilt skiktet paa bygedagene end paa de sikre godveirsdager, ikke kan træffe sakens kjerne. Karterne viser nemlig, at sammenstrømning og tilhørende opstigende luftstrøm kan forekomme like sterkt paa de steder hvor der dannes byger som paa de steder hvor godveiret holder sig. Paa den anden bygedag har vi f. eks. like kraftig sammenstrømning av luft paa Dovre som paa Sørlandet, og følgelig like kraftig opstigende luftstrøm paa det første sted som paa det andet. Men like fuldt har man paa Sørlandet byger, mens intet regn falder paa Dovre. Det som skal utforskes er altsaa ikke betingel-

Digitized by Google



a. Luftbevægelse kl. 2 e. m. b. Tilsvarende regnomraader.

Fig. 15. Femte bygedag.



a. Luftbevægelse kl. 2 e. m b. Tilsvarende regnomraader.

Fig. 16. Sjette bygedag.

Digitized by Google

serne for dannelse av en opadstigende luftstrøm, men grunden til at en saadan opstigende luftstrøm paa visse steder og til visse tider straks bringer byger, men paa andre steder og til andre tider synes helt virkningsløs.

For at finde sammenhængen hermed kan vi betragte kartene i rækkefølge. Vi ser at de første bygecentrer ligger paa fjeld nær kysten. Fra disse fortsætter bygedannelsen som en smitte fra fjeld til fjeld indover landet. Denne smitte synes at følge bestemte baner: paa den anden bygedag gaar en saadan bane fra Sørlandet over Telemarks-, Numedals- og Hallingdalsfjeld op til Filefjeld. Paa den tredje dag viser sig en bane fra Norefjord over Valdres- og Gudbrandsdalsfjeld op til Dovre. Tar vi saa i betragtning at de fjeld, hvor en sammenstrømning kan være virkningsløs i flere dager, for det meste ligger langt inde i landet, faar vi en anelse om smittens art: det maa være fugtighet fra sjøen.

Tanken kan prøves. Luft over landet indeholder om sommeren omtrent en halv vægtsprocent vand, luft over sjøen derimot omtrent den dobbelte mængde, en procent. Naar derfor sjøluft stiger op, vil vandet begynde at utskille sig allerede i 500 til 1000 meters høide, derimot først i 1500 til 2000 meters høide naar det er tør landluft. Denne forskjel er fuldstændig tilstrækkelig til at forklare at like sterk sammenstrømning en gang kan gi byger og en anden gang kun høie uskyldige skyer. Da nu solgangsvinden gaar med en fart av 10 til 20 km. i timen, vil den i løpet av en dag naa et par hundrede kilometer gjennem fjorder og dalfører. Dette forklarer at byger dannes allerede første dag paa Sørlandet, men først anden dag saa langt op som til Filefjeld, og først tredje dag helt op paa Dovre. Og paa de forholdsvis faa steder hvor vi har hat fugtighetsmaalere har det ogsaa altid vist sig at bygedannelsen sætter ind saasnart den fugtige luft er ankommet, men heller ikke før.

Noget overraskende kan det se ut, at bygedannelsen gaar saa langsomt for sig paa Vestlandet. Men om veien ind fra sjøen er kort, saa er de trange og forrevne fjorder og daler ikke saa bekvemme kanaler som de brede østlandske dalfører. Paa den første godveirsdag hadde man paa Vestlandet ingen bygecentrer. Paa den anden dannes kun ét centrum, det paa Storstensheia, som faar sin sjøluft op gjennem Ryfylkefjordene, paa den tredje dag kommer kun to nye til, det paa Haarteigen og det paa Skarfjeld. Helt til fjerde dag varer det før virkningen gjør sig gjældende paa Voss, som jo ligger meget avstængt fra

Digitized by Google

fjordene. Og her har vi heldigvis fugtighetsmaalinger til kontrol. De viser at helt til tredje dag har Voss hat tør landluft. Men paa den fjerde dag kom sjøluften og samme dag bryter ogsaa bygerne løs.

Længst maa Trysil og øvre Østerdalen vente paa sine byger. Mjøsen ligger her som en hindring for sjøluftens fremtrængen fra Skagerak av. Men sjøvind fra Den botniske bugt danner efterhaanden bygecentrer i Sverige, som sender byger over denne del av Norge.

Vi kan efter dette med stor sikkerhet trække den slutning at lokale byger kun optrær i fugtig luft som er naadd frem fra sjøen med solgangsvinden. Denne sjøluft er like klar som landluften. Morgenen oprinder like blank som dagen før, da luften var tør. Ingen kan heller kjende om luften indeholder en halv eller en hel procent vanddamp, saa intet tegn sier os om der forestaar en tryg godveirsdag eller en bygedag. Her kan kun fysikens maalemetoder hjælpe os. Og efterat vi nu har faat blik for lovmæssigheten, har vi godt haap om fremgang ogsaa med denne tidligere saa vanskelige opgave at utsende varsler om fare for lokale byger.

De love som saaledes er fundet for de lokale byger i Norge, vil sikkert gjenfindes i hovedtrækkene i alle land og alle verdensdele hvor byger av denne natur optræder. Forsaavidt er dette resultat av like almindelig interesse som paavisningen av regnbaandene i cyklonerne.

Jeg har her holdt mig til spørsmaalet om forutsigelse av regn. Dette var hovedopgaven sidste sommer. Men veien er ikke lang herfra til forutsigelse av vind og storm. Det vinkelformede regnbaand i cyklonerne viser ogsaa hvor stormen huserer værst. Der blir derfor ingen stor forskjel paa at forutsi regnets og vindens vekslinger under forbifarten av en cyklon. Her kan man derfor paa en gang møte akerbrukets, fiskeriernes, sjøfartens og luftfartens interesser.

De lokale sommerbyger er i det store og hele et indlandsfænomen. De kan naa frem til fjordene og den indre skjærgaard, men gaar sjelden helt til havs. Paa en aapen kyst som Jæderen stanser de som regel et par mil fra sjøen. Varslingen av disse, som er saa vigtige for landbruket, faar derfor kun underordnet betydning for sjøfolk og fiskere. Men for luftfarten er de i ethvert fald høist ubehagelige om ikke farlige. Varsling om saadanne byger langs luftruterne blir derfor et krav som man ikke kommer forbi. Det blir en fremtidsopgave at organi-

Digitized by Google

sere en veirtjeneste som kan besørge dette. Men allerede nu kan en almindelig varsling gives: Ruterne bør ikke paa varme sommereftermiddager lægges for nær de aktionscentrer for bygedannelse som allerede nu er kartlagt.

Jeg skal ikke gaa videre i enkeltheter, men vende tilbake til de to hovedresultater som kan sammenfattes saa: sløret som har dækket over cyklonernes hemmelighet er begyndt at falde, og i den tilsyneladende regelløshet for de lokale byger har vi faat blik for en fast lovmæssighet.

Saa forskjelligartede disse to resultater kan synes at være, saa vil man dog se en eiendommelig forbindelse imellem dem. I begge tilfælder viser det sig at det nye veir skyldes fremtrængen av nye luftmasser. Cyklonregnet skyldes varm luft fra syd, de lokale byger fugtig luft fra sjøen. Merker vi os at den varme luft i cyklonen ogsaa er fugtigere end den kolde, saa har vi den enkle og næsten selvfølgelige regel at kun luft som indeholder meget vand bringer regn.

Karter over luftens vandgehalt vil derfor fremtidig kræves som en vigtig støtte for veirvarslingen. Sammen med karter over selve regnfronterne vil de gi det bedste billede av de kjæmpende luftmassers fordeling, mens vindkarterne gir grundlaget for at bedømme hvordan denne fordeling vil forandre sig.

Som veirtjenesten i de forskellige land og utvekslingen av veirtelegrammer landene imellem nu er indrettet, tillater de os endnu kun høist ufuldkomment at følge denne kamp og kun at sende ufuldkomne underretninger om dens gang fra land til land. Her venter en stor international organisationsopgave paa sin løsning.

Öm Absorptionens Afhængighed af Lysstyrken.

Af Chr. Winther.

Et af de sikreste Aksiomer baade i den teoretiske og den praktiske Fysik er vistnok det, der gaar ud paa, at et Stofs Absorptionskoefficient under givne ydre Omstændigheder er konstant og uafhængig af den Lysintensitet, der anvendes ved Maalingen. Aarsagen til, at jeg kom til at undersøge dette Spørgsmaal, der ikke skulde synes at

Digitized by Google

have Undersøgelse behov, var en Samtale med Prof. M. Tscherning, hvoraf det fremgik, at visse Ejendommeligheder ved Øjets Forhold overfor svage Lyspaavirkninger lettest kunde forklares, dersom Absorptionen af det gule Farvestof i Nethindens centrale Del aftog stærkt ved meget smaa Lysintensiteter.

Et Gennemsyn af Literaturen viste, at Loven om Absorptionens Konstans eksperimentelt set hviler paa meget svage Fødder, idet der af direkte Undersøgelser vistnok kun findes en eneste[1]), i hvilken Intensiteten endda kun blev varieret indenfor snævre Grænser. Jeg ansaa mig derfor berettiget til at underkaste Aksiomet en nærmere Undersøgelse. Da de Intensiteter, her er Tale om, ligger omkring $^1/_{400}$ Hefnermeter, kunde der kun være Tale om fotografisk Maaling.

Paa tværs af en optisk Bænk af 3 Meters Længde blev anbragt en Skærm med 2 Huller over hinanden og over Bænkens Midterlinie. Hullernes Diameter var 8 mm, og de kunde hver for sig lukkes med en Klap. Paa Skærmens Bagside kunde en Kasette forskydes, saaledes at den automatisk standsede i 7 Stillinger, hvorved der paa samme Plade kunde faas 14 Optagelser. Som Lyskilde tjente en lille 50-Lys 12-Volts Lampe, som brændte med 10 Volt (Akkumulator), og var anbragt i et Lampehus, hvori en fin Aabning, dækket indvendig med 6 Lag Kalkerpapir, hvorved selve Hullet kunde regnes som Lyskilde. De 12 af Eksponeringerne foretoges ved direkte Bestraaling af Pladen, idet Lyskilden anbragtes i 12 forskellige Afstande, saaledes at der blev eksponeret 6 Gange i kort Tid (ens for for alle) og korte Afstande, 6 Gange i lang Tid (ens for alle) og lange Afstande. Ved de to resterende Eksponeringer blev en Glaskuvette med 1 cm Lag af 0,001 pCt. Naftolorange stillet umiddelbart foran Hullet i Skærmen og Lyskilden anbragt saaledes, at de resulterende Sværtninger vilde falde indenfor de Skalaer, der fremkom ved de »frie« Ekspositioner. Den anvendte fotografiske Plade var ikke optisk sensibiliseret. Paa de færdige Plader blev Sværtningerne maalt i et Martens Polarisationsfotometer i diffust Lys.

I de følgende Tabeller er angivet Pladens Nummer, Diameteren af Hullet i Lampehuset, Eksponeringstiderne i de to Sæt Eksponeringer, Lyskildens Afstand A i cm og Sværtningerne $S = \log \frac{I_0}{I}$. Tallene i Kursiv angiver Eksponeringerne bag Kuvetten med Farvestof.

[1]) Bunsen u. Roscoe. Pogg. Ann. 101, 235 (1857).

Digitized by Google

Plade 1.

Huldiameter 0,9 mm.

	10 Sek.			20 Min.	
A	S	S ber.	A	S	S ber.
16	0,77	0,77	160	0,56	0,56
16,5	0,74	0,74	165	0,55	0,55
17	0,73	0,72	170	0,54	0,54
10	*0,72*		*100*	*0,52*	
17,5	0,69	0,69	175	0,53	0,53
18	0,68	0,67	180	0,52	0,52
18,5	0,65	0,64	185	0,52	0,51

Plade 2.

Huldiameter 1,5 mm.

	10 Sek.			30 Min.	
A	S	S ber.	A	S	S ber.
16	1,09	1,11	160	0,94	0,95
16,5	1,07	1,08	165	0,92	0,91
17	1,13	1,06	170	0,87	0,87
10	*1,10*		*100*	*0,79*	
17,5	1,01	1,03	175	0,83	0,84
18	0,98	1,00	180	0,79	0,80
18,5	0,98	0,98	185	0,76	0,76

Plade 3.

Huldiameter 1,5 mm.

	10 Sek.			30 Min.	
A	S	S ber.	A	S	S ber.
16	0,98	0,99	160	0,92	0,92
16,5	0,97	0,96	165	0,87	0,87
17	0,93	0,93	170	0,81	0,81
10	*0,90*		*100*	*0,73*	
17,5	0,88	0,90	175	0,74	0,76
18	0,87	0,87	180	0,70	0,70
18,5	0,84	0,84	185	0,65	0,65

Digitized by Google

Under $S_{ber.}$ er anført de udjævnede Værdier af S, beregnede ud fra den Forudsætning, at der er lineær Afhængighed mellem Lyskildens Afstand og S, hvilket indenfor det anvendte Sværtningsomraade stemmer med tilstrækkelig Nøjagtighed.

I følgende Tabel er samlet: Pladens Nummer, Ekspositionstiden ved »fri« Belysning, den Afstand ved »fri« Belysning, der giver samme S (udjævnet) som de tilsvarende Belysninger bag Farvestoffet, samt de deraf beregnede Absorptioner i pCt.

Plade Nr.	Tid	Afst.	Abs.
1	10 Sek.	17	65
1	20 Min.	180	69
2	10 Sek.	16,2	62
2	30 Min.	181	70
3	10 Sek.	17,5	67
3	30 Min.	178	68

Den anvendte Lysstyrke blev i samme Apparat bestemt ved Sammenligning med en Hefnerlampe. Belysning 10 Sekunder.

Huldiameter 1,5 mm		Hefner	
A	S	A	S
10	1,82	190	1,61
15	1,37	210	1,56
20	1,10	230	1,48
25	0,92	250	1,39
30	0,78	270	1,35
35	0,66	290	1,25
40	0,62		

Ved grafisk Udjævning fremkom de i følgende Tabel angivne S-Værdier for Hefnerlampen. I 3die Række er angivet de til disse Sværtninger svarende Afstande for Glødelampen med 1,5 mm Hul, i 4de Række de deraf beregnede Belysninger (i Lux) som Glødelampen frembringer i 10 cm Afstand.

Digitized by Google

A	S	A	Belysn.
Hefner		Glødelampe	
190	1,61	11,8	0,39
210	1,55	12,4	0,35
230	1,48	13,1	0,32
250	1,41	14,2	0,32
270	1,33	15,5	0,33
290	1,25	16,8	0,34
			0,34

Lampen med 0,9 mm Hul giver da i samme Afstand 0,12 Lux.

Følgende Tabel indeholder de fundne Absorptionsstørrelser, ordnede efter aftagende Belysning.

Plade	Belysning	Absorption
2	0,34	62
3	»	67
1	0,12	65
2	0,0034	70
3	»	68
1	0,0012	69

Værdierne synes at vise en ganske svag Stigning af Absorptionen med aftagende Belysning. Dette beror dog sikkert paa eksperimentelle Fejl. Ved de korte Afstande — de 3 øverste Værdier — er Størrelsen af den belyste Plet ikke forsvindende lille i Forhold til Afstanden, og smaa Indstillingsfejl faar her stor Betydning. Disse Værdier varierer da ogsaa langt stærkere end de 3 sidste.

Selv ved disse meget smaa Lysstyrker maa Absorptionen derfor anses for konstant.

Digitized by Google

Fysik i Skolen.

Svenske Eksamensopgaver.

Uppgifter i Fysik, Studentexamen. H. T. 1919.

1. För att ett klot med 5 dm radie skall kunna kvarligga på ett lutande plan, vars vinkel med horisontalplanet är 12°, anbringas på planet nedanför klotet en träkloss så, at klotet stöder mot en horisontell kant av klossen i en punkt på 2 dm avstånd, räknat vinkelrätt från det lutande planet. Sök förhållandat mellan klotets tryck mot planet och dess tyngd, då det förutsättes, att ingen friktion förefinnes mellan klotet och planet.

2. En rektangulär metallskiva är upphängd i en tråd, så att skivan hänger vertikalt och så att dess nedre kant är parallel med ett därunder befintligt horisontellt bord och befinner sig 15 cm över det samma. Med undantag av en 3 cm bred strimma längs nedre kanten är skivans ena sida overdragen med ett lager av sot. I jämnhöjd med skivans underkant och vinkelrätt mot skivan befinner sig en vid en stämgaffel fästad nålspets, som nätt och jämt berör skivan och, när stämgaffeln svänger, rör sig horisontellt fram och tillbaka på skivans yta. Sedan stämgaffeln försatts i svängning, bringas skivan att falla, därigenom att tråden, som uppbär densamma, avbrännes. Skivan, som under hela rörelsen håller sig vertikal, är så lång, att nålspetsen berör densamma under hela falltiden. Efter försökets slut finner man, att nålspetsen ritat 58 hela svängningar i sotet. Beräkna stämgaffelns svängningstal. Accelerationen vid fritt fall är 981 cm.

3. I ett cylindriskt, lodrätt, nedtill slutet rör av 6 cm diameter är medelst en rörlig, friktionsfri kolv av 4,72 kg vikt avstängd en blandning av luft och mättad vattenånga. Hur mycket bör kolven belastas, för att volymen av den avstängda luften och vattenångan skall minskas till hälften? Den yttre luftens tryck är 755 mm kvicksilver. Mättad vattenångas tryck vid den rådande temperaturen är 17,4 mm kvicksilver. Kvicksilvrets egentliga vikt är 13,6.

4. En kvicksilvertermometer är graderad så, att den visar rätt, då hela instrumentet har samma temperatur. Vid ett tillfälle, då termometern med sin nedre del till gradstrecket +50° var nedsänkt

Digitized by Google

i ett oljebad, vars hela massa genom omröring hölls vid samma temperatur, visade den +172°,0. Vilken var oljebadets sanna temperatur, då man kan räkna med att termometerns ovan oljebadet befintliga del hade en temperatur av +32°? Kvicksilvrets volymsutvidgningskoefficient är 0,000181, glasets 0,000027.

5. En elektrisk personhiss, vars totala vikt är 340 kg, höjer sig med jämn hastighet 25 meter under loppet av 52 sekunder. Motorn, som lyfter hissen, arbetar med en spänning av 220 volt och har en verkningsgrad av 78 pCt. (d. v. s. 78 pCt. av den förbrukade elektriska energien förvandlas till mekaniskt arbete). Hur stor är strömstyrkan? En kilowatt motsvarar 102 kilogrammeter i sekunden.

6. I en strömkrets, vars totala motstånd är 1200 ohm, äro tre identiskt lika batterier *A*, *B* och *C* inkopplade i serie. så att de lämna ström i samma riktning. Mellan två punkter *D* och *E*, belägna respektive på delarne *AB* och *AC* av strömkretsen, inkopplas en ledning med en galvanometer, och mellan batterierna *B* och *C* införes i strömkretsen en reostat, vilkens motstånd regleras så, att ingen ström går genom galvanometern. Detta inträffar, då reostatens motstånd är 300 ohm. Hur stora äro de ursprungliga motstånden hos de delar av den slutna strömkretsen, vari denna uppdelas genom punkterna *D* och *E*?

7. I en bägare har man ifyllt kolsvavla till en højd av 10 cm och däröver vatten till samma höjd. Hur mycket upplyftad synes bägarens botten för ett öga, som ser lodrätt nedåt? Brytningsexponenten från luft till kolsvavla är $^5/_3$ och från luft till vatten $^4/_3$.

Resultater: Nr. 1: 0,82; Nr. 2: 599; Nr. 3: 33 kg; Nr. 4: 174,6°; Nr. 5: 9,34 Amp.; Nr. 6: 500 Ohm, 700 Ohm; Nr. 7: 6,5 cm.

Et Forsøg fra Lydlæren.

Naar en Stemmegaffel svinger, fremkommer der som bekendt ved Interferens mellem de Bølgesystemer, de to Grene udsender, Steder, hvor Tonen lyder svagt. Man kan paavise dette ved, mens Stemmegaflen svinger, at holde den vandret over et Resonansrør lavet af et Cylinderglas hvori der er fyldt Vand saa højt, at Afstanden fra Stemmegaflen til Vandoverfladen er en Fjerdedel Bølgelængde. Ved

Digitized by Google

nu at dreje Stemmegaflen om sin Længdeakse vil man let opdage 4 Stillinger, i hvilke Tonen kun lyder meget svagt, medens den i 4 andre Stillinger har Maksimum af Styrke. Hvis man i en af de Stillinger, hvor Tonen lyder svagt, forsigtigt skyder et Rør f. Eks. et Reagensglas ned over den ene Gren uden at berøre den, vil Tonen lyde kraftigt igen, fordi man nu har forhindret det Bølgesystem, som Grenen udsender, i at udbrede sig og derved ogsaa forhindret Interferensen. *(Physikalische Zeitschrift).* *L. C.*

Anmeldelser.

Chr. Winther: Fotografiske Øvelser. G. E. C. Gad, København 1919. Pris h. 2,35 Kr.

En recension oeh några förslag.

Inom den fotografiska litteraturen finnes, mig veterligen, icke något motstycke till denna bok. Förf. har sålunda ej haft någon förebild att följa, utan först i de kurser, han ledt, utprövat sina försök och så valt dem, som han funnit bäst ur teoretisk och pedagogisk synpunkt.

Vid deras beskrifvande har han sedan haft att välja mellan en kortfattad laborationshandledning, som blott är afsedd för laboratoriets lärjungar, och en mera utförlig handbok. Han har valt en medelväg — jag skulle dock ha önskat en något större utförlighet ur alla deras synpunkt, som ej arbeta på för ändamålet ordnade laboratorier.

Försöken äro nämligen i de flesta fall så enkelt och praktiskt anordnade, att äfven intresserade amatörer och fackfotografer böra kunna utföra dem och därigenom lära grundligare känna sitt optiska och fotokemiska material. Det, som då närmast synes mig böra utvidgas, är beskrifningen på de hjälpmedel som vid försöken användas — dels så att de utförligare beskrifvas, dels så att i vissa fall en handledning lämnas för deras framställande eller en hänvisning till hvarifrån de kunna erhållas.

Särskildt skulle jag i detta fall vilja framhålla de grå och gula kilar, som det är en glädje att se genomfördt använda. I hvad förf. sid. 29 säger om det rationella i att använda inten-

Digitized by Google

sitetsskalor vid gradations- och känslighetsbestämningar kan jag fullt instämma; i all synnerhet vilseledande kunna, som jag på annat ställe framhållit, de intermittenta tidsskalorna vara, sådana de erhållas i Scheiner sensitometern. Det vore därför synnerligen önskvärdt att en enkel och praktisk handledning för framställning af goda gråkilar blefve spridd — ej blott i tidskrifter utan äfven i en handbok som denna.

Vidare skulle för dess användning utom, kanske äfven inom laboratoriet några hänvisningar till litteraturen vara lämpliga. Å ena sidan önskar och behöfver man vid självstudier sätta sig något mera in i frågan än de antydningar medgifva, till hvilka förf. af lätt insedda skäl måst begränsa sig; å den andra torde försökens utförande väcka så mycket intresse, att man gärna något grundligare söker lära känna orsaken till hvad man funnit.

Det vore därför synnerligen önskvärdt att dels i början angifva några goda handböcker — t. ex. Englisch, Vogel, Miethe-Menthe, Derr, Beeson & Williams — å den andra vid de särskilda försöken angifva, hvar i dessa eller i specialhandböcker — Eders Handbuch och Jahrbuch, Schmidt's Photogr. Hilfsbuch etc. — närmare upplysningar kunna erhållas. Detta, som ett exempel, rörande den efter Goldberg, Luther och Weigert utarbetade metoden för svärtningskurvans erhållande, som af förf. flerstädes tillämpas.

Hvad vidare innehållet i dess särskilda delar angår, lämnas först några allmänna regler för arbetet. Här skulle jag tänka mig, att användningen af en indifferent mineralolja — paraffinolja — för att skydda framkallarelösningarna för luft kunde framhållas; likaså vikten af att använda urkokt vatten för att undvika luftbubblor, som lätt orsaka fläckar vid framkallningen.

Förf. öfvergår sedan till den optiska delen af arbetet, hvilken börjas med en kort karaktärisering af objektivens egenskaper. Därvid hade en strängare definition af brännvidd och bildvidd med utgång från huvudpunkterna varit önskvärd — hade den gifvits, skulle ej reservationer som den å sid. 70 varit nödvändiga. Oförklarade blifva med den gifna definitionen äfven egenskapen hos teleobjektiv att med kort kamerautdrag gifva stora bilder liksom

Digitized by Google

det nyttiga, men föga kända faktum, att man med ett dubbelobjektiv genom att afskrufva baklinsen i st. f. framlinsen vinner vida mer i »skenbar kameralängd« än som motsvarar afståndet mellan linserna.

Öfningarna 1 a og 1 b skulle troligen lätt kunna utföras med hela objektivet och med dess hälft samt därigenom göras väl så instruktiva, äfven genom inblicken i objektivets konstruktion.

Emellertid torde den metod för bestämning af brännvidden, som där angifves, ej alltid vara möjlig. För at öka intresset hos eleverna är det lämpligt att, om de äga egna kameror, låta dem medföra dessa och utföra bestämningarna å dessas objektiv. Utdraget räcker då ej alltid till. En i detta afseende mindre fordrande metod, hvilken bygger på två inställningar af ett föremål af bekant storlek och bestämmande af förstöringsgraden, finnes af mig framställd i Nord. Tidsskr. f. fotografi. 1917, sid. 10; en liknande metod, byggd på grafisk konstruktion, är gifven af H. Bäckström i samma tidskrift, 1919.

Angående öfningen 1 b skulle den med fördel kunna kompletteras så, att de belysta spalterna behölles på lika afstånd från hvarandra, och man med olika brännvidder inställde den närmaste af dem i samma storlek. Förhållandet mellan spalternas längder skulle då gifva skilnaden i perspektiv mellan objektiv af längre och kortare brännvidd.

Öfning 2 behandlar objektivens verksamma öppning, hvilken bestämmes genom belysning från visirskifvan och afläsning på skala. Man kan ju äfven fotografiskt fasthålla denna på ett stycke framkallningspapper eller, än enklare, med ögat på visirskifvans plats aflåsa en skala, fäst framför objektivet.

Måhända än enklare är en metod — angifven af Hartmann i Eder's Jahrbuch 1904 — enligt hvilken man med ett mikroskop eller annan, förskjutbar diopteranordning direkt inställer på bländarens kanter dels med, dels utan den framför denna liggande delen af objektivet. Man erhåller så äfven förhållandet mellan verksam och verklig bländareöppning, hvilken för skilda objektivtyper kan vara ganska olika, och hvilken, som Hartmann visar, kan vara af stort intresse. För enklare mätningar kan ju dioptern ställas fast och objektivet läggas på ett utmed en skala förskjutbart bord, belyst underifrån genom hvit kartong.

Digitized by Google

I sammanhang härmed tages i öfn. 2 a och 2 b djupskärpan under behandling. Något missvisande torde här uttrycket å sid. 17 vara, att djupskärpan skulle kunna ligga annorlunda i rummet än beräknadt. Bortsedt från bristande akromatisering — hvilken ej torde förekomma vid objektiv, afsedda för kameror med inställning — torde saken böra uttryckas så, att djupskärpan väl har sitt riktiga läge i rummet, men felaktigheter i kamerans byggnad vilseleda vid användningen. 2 b är således snarare att rubricera som en undersökning af kamera och kasetter än af objektivet.

Så följa undersökningar af linsernas centrering och af ljusfläckar. Väl behöfligt — som jag nyss haft tillfälle att se — är påpekandet af att alla objektiv under svåra förhållanden måste visa sådana fläckar, liksom att man för att få fram de verkliga, inre reflexerna måste täcka bilden af ljuskällan på mattskifvan eller plåten.

I öfning 5 — angående felteckning — kunde med ett enklare objektiv lätt både tunnformig och kuddformig afbildning framställas genom användande af baklinsen resp. framlinsen. Öfningen blir då sammanhållen med bestämmandet af sambandet mellan brännvidd och kamerautdrag.

Öfningarna 6 och 7 behandla det användbara bildfältets storlek och kvalitet, i afseende på ljusstyrka, och bildskärpa, samt utföras okulärt. Man kunde äfven utföra dem på rent fotografisk väg — hvilket synes mera tilltalande i fotografiska laborationer — genom objektivets montering å en större kamera och ett passande föremåls afbildande. Som sådant lämplig vore en större, hvit yta, på hvilken längs olika diametrar och på bestämda vinkelafstånd från centrum skriftprofven vore fästa — hvarje stilstorlek på sin diameter. Ett negativ häraf, betraktadt på rätta sättet — enklast kanske insatt i kameran å mattskifvans plats och betraktadt genom dess objektiv med samma inställning som vid upptagningen, eller ock med lup — borde ge en god öfversikt af förhållandena.

Bildvinkeln erhålles på detta sätt direkt, utan någon beräkning.

Vignetteringen kunde här kvantitativt uppskattas genom att å plåten inkopiera en gråkil af känd absorption, med hvilkens bild fältet mellan diametrarna kunna jämföras.

I öfningarna 8 och 9 behandlas nu objektivfelen. Om dessas

Digitized by Google

framställning gå ju åsikterna rätt mycket isär. Enklast synes mig de här medtagna felen kunna sammanföras så, att man utgår från det smala, axiala knippe, för hvilket den geometriska optikens lagar gälla. Med detta kan dock ej någon afbildning realiseras; knippets diameter måste utvidgas; då införes den sferiska aberrationen.

En annan möjlighet är, att detta elementarknippe infaller i någon viss vinkel mot optiska axeln; därvid införas de astigmatiska felen. Om äfven detta sneda knippe utvidgas, införes sferisk aberration i sneda knippen; detta är koma, och förefinnes ej blott i det optiska hufvudsnittet, utan äfven $\perp$ däremot, ehuru den där på grund af sin symmetri mindre skadar bilden.

Den sfäriske aberrationen plägar man ju, liksom den astigmatiska, framställa grafiskt. I sådant fall har man ju skäl att tillämpa den allmänt antagna v. Rohr'ska skalan — se t. ex. Harting, Optisches Hilfsbuch, sid. 57 och 67.

Sedan äfven de kromatiska felen behandlats — här kunde vara af intresse att upprepa inställningsserien med ortokromatiska plåtar och färgfiltra — öfvergår förf. till undersökning af slutare.

Glädjande är att finna verkningsfaktorn där upptagen — men dess bestämmande synes ganska kinkigt, då enligt förf.s metod, komplikationer införas dels genom att intensitets- och tidsskalor jämföras, dels genom att intermittent belysning användes. Måhända spela dessa afvikelser föga roll jämförda med slutarens ojämheter — men de äro dock ej obetydliga.

Rätt svårt torde ock vara att efter pendel utan större procentiska fel kunna exponera 1 och 2 sekunder.

Härpå följer den tredje hufvudafdelningen: undersökning af det ljuskänsliga materialet. Förf. tager här, som förut framhållits, afstånd från alla tidsskalor och väljer intensitetsskalan, åstadkommen genom absorption i gråkil. Någon motivering för detta hade dock varit önskvärd — lämpligen gifvan i form af en redogörelse för Schwarzschilds lag. Man må hafva hvilka åsikter som hälst om orsaken till dessa afvikelser från reciprocitetslagen — att de finnas där, och att de kunna uppgå till betydande belopp är ofrånkomligt. Plåtarnas förhållande i detta afseende är äfven så pass lätt undersökt, att det förtjänat medtagas, då deras lämplighet för långa exponeringar med svag belysning i hög grad be-

Digitized by Google

tingas häraf. Man behöfver blott gifva en plåt några olika långa belysningar bakom en kalibrerad gråkil för att erhålla goda värden *).

Med en intensitetskil af logaritmiskt växande absorption framställes så en svärtningsskala, hvilken uppdelas i de vanliga tre delarna för under-, normal- och öfverexposition. Uttalandet om normalexponeringen, att den ger en fullständigt rätlinig del af kurvan torde doch vara en sanning med modifikation. Svärtningskurvan är kontinuerligt krökt och har en inflexionspunkt; i närheten af denna kan krökningen vara mycket svag. Med någorlunda noggrant arbete kan man anse denna del som rätlinig för intermittenta skalor, grundligt framkallade: ju kortare framkallning, desto tydligare jämn krökning; kontinuerliga tidsskalar äro starkast krökta, intensitetsskalor intaga en mellanställning.

Resultatet af detta blir att bestämningen af Hurter & Driffield-talen måste vara mycket vansklig, då den räta linjen än lägges som tangent i inflexionspunkten, än så, att den skär kurvan i tre punkter och så långt som möjligt ansluter sig därtill. Åtskilliga strider om dessa konstanter torde bero härpå.

Det å sid. 43 gifna exemplet på en automatiskt erhållen svärtningskurva visar äfven tydligt kontinuerlig krökning.

Än större värde skulle dessa undersökningar få, om de kunde ske med dagsljus. Detta är ju ej möjligt på grund af dess ojämna beskaffenhet, men man kan använda en ljuskälla som i mesta möjliga grad närmar sig därtill. Med »normalljuset« går detta ej, lika litet som med Hefnerlampan. Ej heller att rekommendera i ett mörkrum är det annars goda acetylenljuset. Mycket bekväma och på samma gång konstanta äro däremot gasfyllda glödlampor för låg spänning, hvilka äfven inom den egentliga fysiken förtjänade att användas. Man kan få dem för spänningar upp till 10 volt eller mera med olika ljusstyrkor; effekten är god, och den ytterst ringa utsträckningen hos lyskroppen — några millimeter långa spiraler, liggande i ett plan — gör att intensiteten mycket exakt ändras med afståndets kvadrat.

Med dessa, och ett lämpligt färgfiltrum kan man fixera en sorts normaldagsljus, svarande mot lämplig solhöjd etc. De äro

*) Nord. Tidskr. f. fotogr. 1918: 65, 97; Zs. wiss. Phot. bd. 18.

Digitized by Google

äfven — med starkare selektiva filtra — mycket lämpliga för undersökningar af färgkänslighet.

Här har ju alltid striden stått mellan två metoder: att använda mer eller mindre väl spektralt sönderdeladt ljus, eller att afbilda färgtaflor.

Strängt taget, besvara ej dessa arbetssätt samma frågor. Vill man veta, för hvilka våglängder plåten är känslig, får man svar blott af den förra metoden; den senare åter säger oss huru plåten afbilder just de färger taflan upptager. Som förf. sid. 48 framhåller, tillkommer här det från föremålets yta diffust reflekterade hvita ljuset. Å ena sidan är ju detta ett faktum, till hvilket hänsyn måste tagas; å den andra är det ej säkert att lika mycket reflekteras från t. ex. olika röda färger.

Riktigt är därför att taga båda metoderna till hjälp — men mindre lämpligt synes mig att taga spektret med en annan ljuskälla än färgtaflan, rikare på gula strålar, och därtill med prisma. De långa våglängderna sammanträngas härvid så starkt, att plåten visar en skenbar, allt för stor känslighet för dem. Bättre är att använda gitter — det finnes billiga och fullt användbara gitterkopior — samt en ljuskälla med hvitaste möjliga ljus — gärna, som förut framhållits, med något lämpligt kompensationsfiltrum.

En intressant variant af färgtafle-försöken är användningen af gulkilen; mycket välkommen äfven handledningen att gjuta en gulskifva.

Efter detta följa ett par öfningar angående ljusgårdsbildning — en viktig, men oftast försummad fråga som här med nya försök belyses. Af stort instruktivt värde är försöket 14 a.

Dock synes mig domen öfver flerskiktsplåtar något sträng — om äfven Sandell-plåtarna t. ex. voro rätt långsamma att arbeta med, gåfvo de ett mycket effektivt skydd mot ljusgård. Films hafva reflexionsljusgården af mycket liten diameter, men desto intensivare — den kan där behandlas som sammanfallande med diffusionsljusgården och afsevärdt förstärkande den, hvarför detaljer i hvitt lätt utplånas.

Ljusgården genom diffusion i skiktet kan lätt studeras genom att man exempelvis på Isolarplåtar eller papper inkopierar en smal gråkil. Då erhålles en kraftig, klubbliknande utvidgning på bredden, som lätt kan mätas och ställas i samband med belysningens intensitet.

Digitized by Google

Sedan nu plåtens egenskaper äro diskuterade, öfvergår förf. till dess behandling, och genomgår verkningarna af framkallarens variation, ett mycket försummadt, men intressant område. Att, som därvid sker, framkalla i reagensglas är bra, emedan framkallaren föga oxideras, men fordrar egentligen anordningar för att hålla den i rörelse — öfverensstämmelsen med vanligt arbete uppnås annars ej så väl.

Här kunna resultaten lätt uttryckas i siffror och kurvor genom att samtidigt kopiera negativen och med en smal jämförelsestrimma däråa uppsöka punkter af lika svärtning. Kopierar man med växande tider eller hellre intensiteter, får man ur afstånden mellan de olika inställningarna en god bild af gradationen.

Samma metod kan med fördel användas äfven i öfning 16. Här, liksom på öfriga håll, är det ett nöje att följa författarens sifferexempel som gifva en klar bild af förloppet.

Då förf. sedan öfvergår till undersökningen af positivmaterialet, upptager han en hittills mycket försummad fråga. Endast få hafva sysselsatt sig med denna, och dessa ofta föga rationellt. Hans påpekande af gränserna för papperets svärtning är af stort intresse; likaså hans mätning däraf. Äfven här vore det dock af värde att få den Schwarzschildska konstanten ϑ införd i arbetet — den har för hårdarbetande gasljuspapper mycket låga värden, lägre än de som hittills erhållits för andra materialier.

Inom måttliga gränser är det resultat äfven riktigt, till hvilket öfning 17 a för; men om man använder mera skilda intensiteter, erhålles olika gradation hos kopian, beroende på att mer eller mindre af det från negativets korn diffust reflekterade ljuset kommer att påverka kopieringen, jämte det direkt verkande — ett förhållande som äfven betingas af konstanten ϑ.

Sist tager förf. upp frågan om huru kopior böra betraktas. Ett godt exempel härpå fås genom att med en liten kamera — $4^1/_2 \times 6$ t. ex. — taga ett af de vanliga skämtnegativen — vännens framräckta hand, de jättelika fötterna e. dyl. — och sedan betrakta denna med kamerans objektiv som lup, då den synes helt normal.

Orsaken härtill torde måhända ligga i ännu en faktor utom de här framhållna, som bestämma vår uppfattning af föremålens läge och däi med perspektivet, nämligen ögats rörelse. Vi uppfatta ju ej som objektivet, på en gång en större bildvinkel, utan inställa

Digitized by Google

successivt föremålens olika punkter genom ögats vridning kring en i dess inre belägen punkt. Betrakta vi en kopia på för stort eller för litet afstånd, komma förhållandena mellan de vridningsvinklar, som betingas af olika föremåls bildstorlek, ej att svara mot verkligheten; se vi åter bilden genom objektivet som lup, naturligtvis rätt inställd, blifva rörelsevinklarna desamma, vi ha intrycket att direkt se verkligheten.

* * *

Jag har nu i detalj genomgått detta arbete, det första i sitt slag. Det har varit ett stort nöje att grundligt sätta sig in däri; efteråt är det nog så lätt att framställa önskemål och kritisera, men den som sett huru arbetet på detta område skötes, förstår väl hvilka svårigheter som legat bakom samlandet af och urvalet bland försöken.

Prof. Winthers bok — för att använda recensionens vanliga uttryck — »fyller ett länge kändt behof« och gör det väl; den förtjänar stor spridning och att användas, ej blott i laboratorier, utan af alla som vilja vinna verkliga kunskaper i fotografi. Ej minst tänker jag då på fackfotografernas utbildning.

Men utom det rent fotografiska området borde en stor del af dess försök äfven med fördel kunna genomgås vid läroverkens undervisning i fysik och kemi.

Barnängens fotokem. laboratorium, Decbr. 1919.

Arvid Odencrants.

E. Trepka Bloch: Beweis dass der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie nur beschränkte Gültigkeit hat. 105 Sider. Lehmann & Stages Forlag, P. Haase, København, 1918. Pris h. 6 Kr.

Formaalet med denne Bog er at overbevise Læseren om, at den sædvanlige Maade hvorpaa Varmeteoriens anden Hovedsætning defineres (Clausius, Kelvin, Helmholtz) er urigtig, saaledes at Umuligheden af et saakaldt Perpetuum mobile af anden Art ikke mere kan opretholdes. I Indledningen meddeler Forfatteren, at han i sin Tid var

Digitized by Google

bleven ført til dette Resultat gennem Betragtninger af naturvidenskabelig og filosofisk Karakter, og at han allerede i 1906 vidste, hvorledes den anden Hovedsætning da rigtigt skulde formuleres, og hvorvidt Resultaterne, som var udledet af den i dens klassiske Form, bibeholdt deres Gyldighed. Tiltrods for Sagens fundamentale Betydning har Forf. dog ventet med at offentliggøre sine Resultater, til han var i Besiddelse af et exakt Bevis for disse. Efter flere mislykkede Forsøg mener han nu at have fundet et saadant, eller rettere sagt flere saadanne, thi i foreliggende Bog gør han os bekendt med to ifølge hans Mening exakte Beviser. Endvidere foreligger der et »simplificeret Bevis«, paa 10 Sider Tryk, som kan sættes i Stedet for Bogens andet Bevis, og som er væsentligt enklere og mere overskueligt end dette. Bevisernes Karakter er følgende. Forfatteren tænker sig med nærmere definerede termodynamiske Systemer udført visse Kredsprocesser, som oftest reversible, ved hvilke det efter hans Mening kan paavises, at det kendte Clausius'ske Integral $\int \frac{dQ}{T}$ (hvori dQ er den ved hvert uendelig lille Skridt af Processen udefra tilførte Varme, og T Systemets absolutte Temperatur) ikke er $\leqq 0$, men > 0; men dette betyder som bekendt netop Muligheden af et Perpetuum mobile af anden Art.

For at forebygge Misforstaaelser skal det allerede her bemærkes, at de omtalte Processer alle er »makroskopiske«, saaledes at vi til enhver Tid har at gøre med en paa den sædvanlige Maade defineret Temperatur, og at der skarpt kan skelnes mellem Varmetilførsel og udført Arbejde. Forfatterens Indvendinger mod Varmeteoriens anden Hovedsætning har saaledes ikke noget at gøre med Varmebegrebets statistiske Opfattelse, og de af ham betragtede Processer har ikke noget Slægtskab med de »mikroskopiske«, molekylære Processer af den Slags, som Maxwell tænkte udført af sine Dæmoner, og ved hvilke Entropien af et isoleret System kunde formindskes. At Forfatteren dog er kommet ind paa at tale om sandsynlighedsteoretiske og statistiske Betragtninger i Forbindelse med Bogens andet Bevis, beror aabenbart paa et Ukendskab til saadanne Betragtninger, saaledes som vi nedenfor faar Lejlighed til at omtale.

Hvis der nu bliver spurgt om en kritisk Vurdering af Bogen, maa det først og fremmest siges, at hele dens Tankegang og Stil og Ret-

Digitized by Google

ningen, i hvilken Bevisførelsen søges gennemført, røber en fuldstændig Mangel paa dybere Forstaaelse af de klassiske Betragtninger af Carnot, Clausius og andre, som ligger til Grund for Termodynamikkens anden Hovedsætning og for Entropi-Begrebets Opstilling. De forskellige Udgangspunkter og Grundtanker for Beviserne er nemlig saadanne, at de aldrig nogensinde kunde føre til et Bevis, selv om den anden Hovedsætning var urigtig. Det er da heller ikke vanskeligt i ethvert af dem at sætte Fingeren paa det Sted, hvor Forfatteren drager en Fejlslutning, og denne viser sig i hvert enkelt Tilfælde at bero paa elementære, logiske Fejltagelser*); men for at klargøre Bevisernes fuldstændige Uholdbarhed er det absolut overflødigt at paavise disse.

I det første Bevis betragtes der en Damp, som i en vis Del af Processen nok har samme Tryk og Temperatur som sin Vædske, men som ikke er i sædvanlig termisk Ligevægt dermed, idet den er overmættet og adskilt fra Vædsken ved en Skillevæg. Dampens Molekyler tænkes delvis at være associeret til større Molekyler, paa saadan Maade at Associationsgraden ændrer sig med Temperaturen, og Forfatteren antager Muligheden af, at en Sammentrykning af Dampen kan ske med saadan Hurtighed, at Associationsgraden ikke er lig med den, som der skulde være i Tilfælde af Ligevægt. I det andet Bevis er der to Cylindre med Damp og Vædske, som heldigvis denne

*) Saaledes gaar første Bevis til syvende og sidst ud paa, at $\int_{T'}^{T_0} \frac{T_0 - T}{T} c' dT$ maa være større end $\int_{T''}^{T_0} \frac{T_0 - T}{T} c'' dT$, naar man ved, at c' er større end c''. (Side 60, Linie 22—28 ovenfra). Forf. tager intet Hensyn til, at de nedre Grænser T' og T'' kan og maa være forskellige.

For andet Bevis' Vedkommende er det, som det vil fremgaa af det nedenfor omtalte, i o.; for sig overflødigt at søge at paapege den direkte Fejl. For at vise, at en vis Brøk kan være < 1, deler Forf. denne i to Faktorer og viser, at den anden af disse kan blive meget lille (Side 77, Formel (6)). Ifølge sin Definition bliver den første Faktor imidlertid meget stor, naar den anden bliver meget lille, en Omstændighed som Forf. ikke lægger Mærke til.

I det simplificerede Bevis paastaar Forf., at det vilde følge af den anden Hovedsætning, at to Produkter af Differentialer $\triangle V \triangle p$ og $\triangle V' \triangle p$ er lige store, medens dens rigtige Anvendelse giver $(V_0 - V) \triangle p = (V'_0 - V') \triangle p'$ (Side 9, Linie 9—12 ovenfra).

Digitized by Google

Gang staar i sædvanlig Ligevægt med hinanden, men som til Gengæld er forbundne med et indviklet Apparat bestaaende af en Metalstang, en Spiralfjeder, en Løftestang og en lille Vogn paa Skinner. At Forfatteren mangler Forudsætninger til videnskabeligt at behandle de Problemer, han interesserer sig for, viser sig straks i den komisk indviklede Karakter af de til »Beviserne« benyttede Kredsprocesser. Hvis der virkelig var nogen Mening i disse Beviser, burde de ogsaa kunne kondenseres til langt enklere Former; havde Forfatteren haft Evner dertil, vilde imidlertid deres Meningsløshed have vist sig med det samme. Dette kan kortest paavises for det andet Bevis, hvor Forfatteren betragter et Antal Legemer (Indholdet af de to Cylindre og Metalstangen), som alle har samme Temperatur, og som hver for sig tænkes at opfylde den Clausius'ske Betingelse $\int dQ/T = 0$ for en reversibel Kredsproces. Forf. tænker sig nu, at de tre tilsammen udfører en reversibel Kredsproces, og »beviser«, at Summen af de tre Integraler $\int dQ/T$, som hver for sig antages at være lig Nul, ikke er lig med Nul. Forf. gør selv opmærksom paa den overraskende Karakter af Resultatet af dette Regnestykke, men siger, at det hidrører fra, at Varmebegrebet skal opfattes statistisk! Man kunde lige saa godt, dersom Resultatet af en Regning gav $2 \times 2 = 3$, som Forklaring henvise til Pengenes synkende Valuta.

Beviserne fylder Bogens andet Afsnit (Side 58—83). Første Afsnit indeholder Betragtninger over visse Kredsprocesser med en Damp og dens Vædske, hvilke for største Del er Beviserne ganske uvedkommende og ikke kan have Interesse for Læseren, skønt de nok kan have været nyttige for at klare Forfatterens egne Tanker.

Tredie og sidste Afsnit, hvori efter Forfatterens Mening anden Hovedsætnings Gyldighedsomraade fastlægges, vidner, ligesom Resten af Bogen, om manglende Forstaaelse af det Grundlag, hvorpaa Varmeteorien er bygget.

Det sørgelige ved foreliggende Bog er ikke, at Forfatteren har tænkt alt, hvad der staar i den — thi hvem kommer til Klarhed over sine Problemer uden at snuble undervejs — men ligger snarere i, at han har manglet den Kritik, som skulde til for at forhindre dens Offentliggørelse.

H. A. Kramers.

Digitized by Google

E. Grimsehl: Lehrbuch der Physik zum Gebrauche beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. I 2 Bind. 1ste Bind Mekanik, Varmelære, Akustik og Optik. 4de forøgede og forbedrede Oplag udgivet af W. Hillers under Medvirkning af H. Starke. B. G. Teubner, Leipzig og Berlin 1920. 1011 Sider, 1049 Figurer i Teksten, 10 Figurer paa 2 farvede Tavler og et Titelbillede (af Grimsehl). Pris indb. 18 Mk.

De tidligere Udgaver af denne udmærkede Lærebog er udførligt anmeldte her i Tidsskriftet (se 9. Aarg. S. 281, 12. Aarg. S. 32, 15. Aarg. S. 172). Her skal derfor blot omtales de Ændringer, der er foretaget i den nye Udgave. De Afsnit, i hvilke i de tidligere Udgaver Elementerne af Differential- og Integralregningen blev behandlede, er blevet indskrænkede og tildels helt udeladte ud fra den Betragtning, at Kendskabet hertil i Alm. kan forudsættes, og at det i ethvert Fald bedre erhverves ved Brugen af en af de mange elementære Vejledninger i Differential- og Integralregning. Der er derved vundet Plads til de mange Tilføjelser rundt om i Bogen, hvorved Fremstillingen er holdt paa Højde med Tiden. Af saadanne Tilføjelser skal fremhæves de af Prof. Starke skrevne Afsnit om Boltzmanns Tydning af Varmeteoriens anden Hovedsætning som en Sandsynlighedssætning og om Energikvantehypotesen, hvori der gives en Udledelse af Planck's Straalingslov. Endvidere er Tabellerne bag i Bogen reviderede og tildels forøgede. Den nye Udgave fortsætter saaledes Traditionen fra de tidligere Udgaver, at give en fra Grunden af opbygget let tilgængelig Fremstilling af den moderne Fysik.

E. S. J.

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google